

UNIVERSITATEA PEDAGOGICĂ DE STAT „ION CREANGĂ”
ȘCOALA DOCTORALĂ ȘTIINȚE ALE EDUCAȚIEI

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: 37.091.3:53(043.3)

ZELENSCHI IRINA

**DEZVOLTAREA ȘI APLICAREA CONCEPTELOR CONSTRUCTIVISTE
MODERNE ÎN PREDAREA FIZICII**

Specialitatea științifică: 532.02

DIDACTICA ȘCOLARĂ(FIZICA)

Teză de doctor în științe ale educației

Conducător științific: Mihail Calalb, dr. conferențiar universitar

Autor: Irina Zelenschi

Chișinău, 2026

CUPRINS

ADNOTARE	5
LISTA TABELELOR	8
LISTA FIGURILOR.....	9
LISTA ABREVIERILOR.....	10
INTRODUCERE	11
1. ASPECTE TEORETICO-DIDACTICE ALE CONSTRUCTIVISMULUI ÎN PREDAREA FIZICII.....	24
1.1. Paradigme educaționale în predarea fizicii.....	24
1.1.1 <i>Conceptul de paradigmă educațională.....</i>	<i>24</i>
1.1.2 <i>Evoluția istorică a paradigmatelor educaționale.....</i>	<i>25</i>
1.2. Constructivismul în didactica fizicii.....	34
1.2.1 <i>Constructivismul ca bază teoretică pentru didactica modernă.....</i>	<i>34</i>
1.2.2 <i>Aplicarea constructivismului în lecția de fizică</i>	<i>39</i>
1.3. Organizarea lecției de fizică în abordare constructivistă.....	43
1.3.1 <i>Înțelegerea conceptuală ca obiectiv central.....</i>	<i>43</i>
1.3.2 <i>Structura lecției constructiviste (model 5E)</i>	<i>45</i>
1.4. Laboratorul de fizică ca mediu constructivist de învățare.....	49
1.4.1 <i>Laboratorul școlar ca mediu de învățare constructivistă</i>	<i>49</i>
1.4.2 <i>Organizarea învățării active în laborator.....</i>	<i>53</i>
1.5. Concluzii la capitolul 1	59
2. BAZE METODOLOGICE ALE APLICĂRII CONSTRUCTIVISMULUI ÎN PREDAREA FIZICII.....	63
2.1 Fundamentele constructiviste ale învățării fizicii	63
2.1.1 <i>Fundamentele epistemice și psihopedagogice ale învățării constructiviste</i>	<i>63</i>
2.1.2 <i>Modelul de instruire 5E ca expresie operațională a constructivismului</i>	<i>72</i>
2.2 Modele didactice constructiviste în predarea fizicii	74
2.2.1 <i>Modelul clasei inversate ca strategie constructivistă de organizare a învățării</i>	<i>74</i>
2.2.2 <i>Aplicarea modelului Clasei Inversate la predarea temei “Echilibrul de rotație”</i>	<i>78</i>
2.3 Aplicarea strategiilor constructiviste în predarea capitolului „Interacțiuni” în clasa a VII-a.....	81
2.3.1 <i>Analiza comparativă a strategiilor constructiviste de predare.....</i>	<i>81</i>
2.3.2 <i>Proiectarea și realizarea lecției de fizică în model IBSE: studiul temei „Forța de greutate. Ponderea”</i>	<i>85</i>

2.4	Concluzii la capitolul 2.....	89
3.	ANALIZA ȘI VALIDAREA ABORDĂRILOR CONSTRUCTIVISTE ÎN ÎNVĂȚAREA FIZICII.....	91
3.1.	Analiza cadrului curricular din perspectiva dimensiunilor constructiviste ale învățării.....	91
3.1.1	<i>Statutul elevului și natura învățării în documentele curriculare naționale</i>	94
3.1.2	<i>Reflectarea construirii cunoașterii în documentele curriculare naționale</i>	97
3.1.3	<i>Reflectarea interacțiunii, argumentării și comunicării științifice</i>	99
3.1.4	<i>Reflectarea rolului profesorului și a organizării demersului didactic</i>	102
3.2.	Construirea cunoașterii științifice în fizica modernă.....	107
3.2.1	<i>Conținuturi de astrofizică cu potențial constructivist</i>	107
3.2.2	<i>Cadrul de organizare a învățării în lecția de fizică</i>	113
3.3.	Analiza empirică a impactului abordărilor constructiviste în învățarea fizicii	117
3.3.1.	<i>Impactul abordărilor constructiviste asupra performanței școlare și relațiilor dintre variabilele de evaluare în gimnaziu și liceu</i>	117
3.3.2.	<i>Relația dintre performanța la lucrarea de laborator și succesul academic al elevilor în studierea electrocineticii</i>	131
3.4	Concluzii la Capitolul 3.....	138
	CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI	143
	BIBLIOGRAFIE	148
	ANEXE	168
	DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII	211
	CURRICULUM VITAE	212

ADNOTARE

Zelenschi Irina

Dezvoltarea și aplicarea conceptelor constructiviste moderne în predarea fizicii

Teză de doctor în științe ale educației. Chișinău, 2026

Structura tezei: Teza este alcătuită din introducere, 3 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie (214 surse). Lucrarea conține 137 de pagini de text de bază, 31 tabele, 18 figuri, 13 anexe. Rezultatele sunt publicate în 10 lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: constructivism didactic, înțelegere conceptuală, învățare prin cercetare, metacogniție, predarea fizicii.

Scopul lucrării constă în determinarea premiselor teoretice, metodologice și didactice ale organizării învățării constructiviste a fizicii, validate empiric în condiții reale de predare.

Obiectivele cercetării: 1) analiza fundamentelor teoretico-didactice ale constructivismului în predarea fizicii; 2) modelarea și ierarhizarea paradigmelor educaționale în funcție de efectul lor asupra învățării; 3) proiectarea metodologică a lecției de fizică pe baza principiilor constructiviste, prin integrarea strategiilor didactice cu mărimea efectului demonstrată; 4) validarea empirică a impactului organizării constructiviste asupra performanței elevilor din gimnaziu și liceu; 5) examinarea funcționării constructivismului în cadrul curricular național și identificarea limitelor aplicării sale; 6) explorarea specificului epistemic al conținuturilor de fizică modernă și a implicațiilor acestuia asupra construirii cunoașterii.

Noutatea și originalitatea științifică constă în: 1) propunerea scării paradigmelor educaționale constructiviste ierarhizate după mărimea efectului; 2) formularea triadei operaționale a învățării constructiviste: efort cognitiv, cunoștințe anterioare și metacogniție; 3) validarea empirică a strategiilor constructiviste în școala moldovenească; 4) demonstrarea că fizica modernă impune, prin natura sa epistemică, un demers didactic constructivist.

Rezultatul obținut contribuie la soluționarea problemei operaționalizării constructivismului în predarea fizicii, evidențiind teoretic și empiric asocierea organizării învățării centrate pe efortul cognitiv al elevului, pe metacogniție și pe feedback sistematic cu înțelegerea conceptuală și performanța academică.

Semnificația teoretică a cercetării: se fundamentează un cadru teoretic al constructivismului aplicat la fizică, articulând paradigme educaționale, mecanisme cognitive și modele didactice într-o viziune unitară.

Valoarea aplicativă a lucrării constă în oferirea pentru profesorii de fizică a unor modele de lecții constructiviste, lucrări de laborator validate empiric și un cadru de analiză a documentelor curriculare.

Implementarea rezultatelor științifice a fost realizată în cadrul activităților educaționale cu elevii Liceului Teoretic „Hyperion” din mun. Chișinău, precum și prin intermediul conferințelor și publicațiilor științifice.

ABSTRACT
Irina Zelenschi

Development and Application of Modern Constructivist Concepts in Physics Education
Doctoral dissertation in Education Sciences. Chişinău, 2026

Dissertation structure: The dissertation consists of an introduction, three chapters, general conclusions and recommendations, and a bibliography comprising 214 references. The thesis contains 137 pages of main text, 31 tables, 18 figures and 13 annexes. The research results have been published in 10 scientific papers.

Keywords: educational constructivism, conceptual understanding, inquiry-based learning, metacognition, physics teaching.

The aim of the research is to determine the theoretical, methodological, and didactic foundations of constructivist physics learning and to validate them empirically under authentic classroom conditions.

Research objectives: (1) to analyze the theoretical and didactic foundations of constructivism in physics education; (2) to model and hierarchically classify educational paradigms according to their effect size on learning; (3) to design a methodological framework for physics lessons based on constructivist principles through the integration of instructional strategies with demonstrated effect sizes; (4) to empirically validate the impact of constructivist instructional organization on the achievement of lower and upper secondary school students; (5) to examine the functioning of constructivism within the national curriculum and identify the limits of its implementation; (6) to explore the epistemic characteristics of modern physics content and their implications for knowledge construction.

Scientific novelty and originality consist of: (1) proposing a hierarchy of constructivist educational paradigms based on effect size; (2) formulating the operational triad of constructivist learning—cognitive effort, prior knowledge, and metacognition; (3) empirically validating constructivist instructional strategies in Moldovan schools; (4) demonstrating that the epistemic nature of modern physics inherently requires a constructivist instructional approach.

The research outcome contributes to operationalizing constructivism in physics teaching, showing theoretically and empirically that learning centered on students' cognitive effort, metacognition, and systematic feedback fosters conceptual understanding and higher academic performance.

The theoretical significance of the study lies in establishing a theoretical framework for constructivism in physics education by integrating educational paradigms, cognitive mechanisms, and instructional models into a coherent conceptual vision.

The practical value of the dissertation consists in providing physics teachers with empirically validated constructivist lesson models, laboratory activities, and a framework for the analysis of curriculum documents.

Implementation of the scientific results was carried out through educational activities with students of the *Hyperion* Theoretical High School in Chişinău, as well as through scientific conferences and publications.

АННОТАЦИЯ

Зеленски Ирина

Разработка и применение современных конструктивистских концепций в преподавании физики

Диссертация на соискание ученой степени доктора педагогических наук

Кишинёв, 2026

Структура диссертации: Диссертация состоит из введения, 3 глав, общих выводов и рекомендаций, библиографии (214 источников). Работа содержит 137 страниц основного текста, 31 таблиц, 18 рисунков, 13 приложений. Результаты опубликованы в 10 научных работах.

Ключевые слова: дидактический конструктивизм, концептуальное понимание, исследовательское обучение, метакогниция, преподавание физики.

Цель исследования состоит в определении теоретических, методологических и дидактических предпосылок организации конструктивистского обучения физике, эмпирически апробированных в реальных условиях преподавания.

Задачи исследования: 1) анализ теоретико-дидактических основ конструктивизма в преподавании физики; 2) моделирование и иерархизация образовательных парадигм в зависимости от их влияния на обучение; 3) методическая разработка урока физики на основе конструктивистских принципов путём интеграции дидактических стратегий с доказанной величиной эффекта; 4) эмпирическая проверка влияния конструктивистской организации обучения на успеваемость учащихся гимназии и лицея; 5) изучение функционирования конструктивизма в рамках национальной учебной программы и выявление ограничений его применения; 6) исследование гносеологической специфики содержания современной физики и её последствий для формирования знания.

Научная новизна и оригинальность исследования заключается в: 1) разработке шкалы конструктивистских образовательных парадигм, ранжированных по величине эффекта; 2) формулировании функциональной триады конструктивистского обучения: когнитивное усилие, предварительные знания и метакогниция; 3) эмпирической апробации конструктивистских стратегий в молдавской школе; 4) доказательстве того, что современная физика в силу своей гносеологической природы требует конструктивистского дидактического подхода.

Полученный результат операционализации конструктивизма в преподавании физики, теоретически и эмпирически показывая, что обучение, основанное на когнитивных усилиях учащихся, метакогниции и систематической обратной связи, способствует концептуальному пониманию и более высокой академической успеваемости.

Теоретическая значимость исследования: обосновывается теоретическая база конструктивизма применительно к физике, объединяющая образовательные парадигмы, когнитивные механизмы и дидактические модели в единую концепцию.

Прикладная ценность работы заключается в предоставлении учителям физики моделей конструктивистских уроков, эмпирически апробированных лабораторных работ и инструментария для анализа программных документов.

Внедрение научных результатов осуществлялось в рамках образовательной деятельности с учащимися Теоретического лицея «Nuregion» г. Кишинёва, а также через научные конференции и публикации.

LISTA TABELELOR

Tabelul 1.1. Educația în Antichitate și Renaștere.....	26
Tabelul 1.2. Educația iluministă și holistică.....	28
Tabelul 1.3. Educația tradițională și eficientistă din epoca industrială	29
Tabelul 1.4. Caracteristicile educației progresiste.....	30
Tabelul 1.5. Educația constructivistă.....	32
Tabelul 1.6. Tipuri de constructivism.....	37
Tabelul 1.7. Caracteristicile principale ale fazelor modelului 5E	46
Tabelul 1.8. Factorii învățării active.....	54
Tabelul 1.9. Obiectivele lucrării de laborator.....	56
Tabelul 1.10. Obiectivele operaționale ale lucrării de laborator „Determinarea vitezei medii a unui mobil”	56
Tabelul 1.11. Experimente demonstrative la Cap. II, Interacțiuni, cl. VII-a.....	59
 Tabelul 2.1. Distribuția notelor în clasa experimentală și în clasa de control	81
Tabelul 2.2. Matricea logică la proiectul didactic Forța de greutate din capitolul Interacțiuni, fizică, clasa VII.....	83
Tabelul 2.3. Matricea logică la proiectul IBSE Forța de greutate din capitolul Interacțiuni, fizică, clasa VII.....	84
Tabelul 2.4. Măsurarea forței de greutate în funcție de masă.....	88
Tabelul 2.5. Acțiunile profesorului și elevilor în cadrul lecției constructiviste IBSE.....	89
 Tabelul 3.1. Reflectarea dimensiunilor constructiviste în documentele curriculare.	108
Tabelul 3.2. Obiectivele, întrebările și ipotezele cercetării.	119
Tabelul 3.3. Distribuția orelor, lucrărilor de laborator și evaluărilor sumative pe clase.	120
Tabelul 3.4. Statistica descriptivă pentru clasa a VI-a.	123
Tabelul 3.5. Statistica descriptivă pentru clasa a VIII-a.....	124
Tabelul 3.6. Statistica descriptivă pentru clasa a X-a.....	124
Tabelul 3.7. Evoluția succesului academic al elevilor pe parcursul anului.	126
Tabelul 3.8. Corelațiile Pearson între lucrările de laborator și evaluările sumative.....	127
Tabelul 3.9. Regresia liniară între notele de la lucrările de laborator și notele la evaluarea sumativă.....	128
Tabelul 3.10. Testul t Student pentru diferențe de gen.....	129
Tabelul 3.11. Repartizarea notelor elevilor de la lucrarea de laborator	135
Tabelul 3.12. Indicatori descriptivi ai punctajului obținut la lucrarea de laborator	135
Tabelul 3.13. Diferența de gen pentru notele de la laborator și evaluare	137
Tabelul 3.14. Indicatori descriptivi pentru notele obținute la evaluare	138
Tabelul 3.15. Rezultatele analizei prin regresie liniară	139

LISTA FIGURILOR

Figura. 1.1 Evoluția predării fizicii în cadrul paradigmelor educaționale.....	33
Figura 1.2: Mărimea efectului a strategiilor de predare și învățare conform teoriei învățării și predării vizibile.....	41
Figura 2.1. Modelul metodei Clasa Inversată.....	77
Figura 2.2. Compararea modului tradițional de predare cu modelul Clasei Inversate pe baza taxonomiei lui Bloom.	77
Figura 2.3. Analiza comparativă a notelor pre-test și post-test din clasa experimentală și de control.....	81
Figura 2.4. Graficul variației forței de greutate G în funcție de masă m	88
Figura 3.1. Dinamica transpunerii dimensiunilor constructiviste de la concepție la practica didactică.....	94
Figura 3.2. Cea mai apropiată gaură neagră, marcată cu un cerc roșu.	111
Figura 3.3. Principiul de funcționare LIGO.	113
Figura 3.4. Structura constructivistă a învățării și rolul eșafodajului în lecția de fizică.	117
Figura 3.5. Principiile de bază de organizare a învățării prin cercetare ghidate de profesor.	118
Figura 3.6. Diagrama de dispersie pentru media notelor la lucrările de laborator.	125
Figura 3.7. Diagrama de dispersie pentru media notelor la evaluările sumative.....	126
Figura 3.8. Diagrama de dispersie pentru corelația dintre rezultatele evaluării sumative și notele la lucrul de laborator.....	128
Figura 3.9. Diagrama de dispersie (Scatter Plot) pentru corelația dintre notele de la evaluarea sumativă și absențe.	131
Figura 3.10. Relația dintre notele de la evaluare și punctajul de la laborator.	137
Figura 3.11. Diferența de gen pentru notele obținute la evaluare.....	137
Figura 3.12. Diferența de gen pentru punctajul de la lucrarea de laborator	138

LISTA ABREVIERILOR

IAOI	–	Învățarea prin asumarea obiectivelor învățării
IBSE	–	Inquiry-Based Science Education
IPV	–	Învățarea și predarea vizibilă
ISM	–	Idei Științifice Mari
ISMC	–	Învățarea științelor prin metoda cercetării
LIGO	–	Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (Observatorul Interferometric Laser pentru Unde Gravitaționale)
MEC	–	Ministerul Educației și Cercetării
NS	–	Natura științei
OECD	–	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organizația pentru Cooperare și Dezvoltare Economică)
PISA	–	Programme for International Student Assessment (Programul pentru Evaluarea Internațională a Elevilor)
STEM/STEAM	–	Știință, Tehnologie, Inginerie, Artă și Matematică

INTRODUCERE

Actualitatea și Importanța Cercetării

La nivel internațional, predarea fizicii se confruntă astăzi cu o criză profundă. Datele colectate prin studiile PISA arată că deși elevii reușesc să acumuleze cunoștințe factuale și să reproducă definiții și formule, ei întâmpină dificultăți majore atunci când sunt puși în situația de a explica fenomenele fizice din perspectivă conceptuală, de a aplica legile fizicii în contexte noi sau de a stabili conexiuni între domeniile studiate [153]. La nivel global, numărul elevilor care aleg fizica la bacalaureat este în scădere continuă, iar interesul pentru specializările universitare STEM rămâne insuficient în raport cu cererea pieței muncii [154]. Acest fenomen este documentat deopotrivă în sistemele educaționale din America de Nord, Europa Occidentală și de Est [81, 150, 203]. Republica Moldova nu face excepție de la această tendință, iar cauzele nu țin de dificultatea intrinsecă a disciplinei, ci în primul rând de modul în care fizica continuă să fie predată în majoritatea sălilor de clasă.

Economia secolului XXI formulează față de sistemele educaționale cerințe fundamentale diferite față de epocile anterioare: angajatorii din sectoarele tehnologice, digitale și inovatoare nu mai caută absolvenți capabili să reproducă informație, ci persoane care știu să rezolve probleme complexe în condiții de incertitudine, să colaboreze eficient în echipe interdisciplinare și să gândească critic. Cadrul european al competențelor-cheie și recomandările OCDE privind educația pentru secolul XXI plasează explicit în centrul finalităților educaționale creativitatea, metacogniția, comunicarea științifică și autonomia în învățare [61; 152]. Fizica predată constructivist devine, în acest context, nu doar o disciplină academică, ci un mediu concret de formare a profilului de absolvent solicitat de societatea bazată pe cunoaștere.

Una dintre prioritățile majore ale agendei educaționale europene, articulată în documentele ET 2030, este formarea capacității de a învăța continuu [62]. Această prioritate răspunde unei realități concrete: cunoștințele dobândite în școală se perimează rapid, iar capacitatea de a-ți reconfigura competențele și de a face față situațiilor noi devine o condiție esențială a integrării profesionale și sociale [53]. În acest context, întrebarea fundamentală pe care și-o pune orice sistem educațional responsabil nu mai este doar „ce știe elevul la absolvirea școlii?”, ci „este elevul capabil să continue să învețe după ce părăsește școala?”. Răspunsul depinde în mod direct de măsura în care școala a reușit să dezvolte metacogniția, autonomia în învățare și capacitatea de autoreglare cognitivă, competențe care nu se formează prin predare tradițională, ci prin implicare activă, reflecție și asumare a propriului proces de cunoaștere.

Sistemul educațional din Republica Moldova se află într-un proces continuu de reformă curriculară, orientat spre competențe și aliniat la standardele europene. Noua Concepție a disciplinei "Fizică. Astronomie" [141], plasată pentru dezbateri în spațiul public, marchează o deplasare clară de la predarea bazată pe transmiterea de cunoaștere spre cea centrată pe elev. Dar analiza realizată în această teză discrepanța între intenția reformatoare a Concepției și capacitatea de a operaționaliza această intenție: orientarea constructivistă este prezentă la nivel conceptual, dar strategii didactice cu eficiență precum modelul 5E, IBSE, Clasa Inversată, sau metoda mozaicului - nu sunt menționate explicit. În acest sens, prezenta cercetare răspunde direct acestei nevoi, oferind fundamentarea teoretică, modelele concrete de organizare a lecției și dovezile empirice necesare pentru a da substanță reală reformei la nivelul lecției zilnice.

Astfel, această cercetare răspunde direct necesității de operaționalizare a constructivismului, oferind un parcurs structurat și progresiv: de la analiza istorică a paradigmatelor educaționale și a tipurilor de constructivism, la fundamentele epistemice și psihopedagogice ale învățării constructiviste, și până la proiectarea concretă a lecțiilor în manieră constructivistă. Modelele propuse sunt ilustrate cu exemple detaliate de activități didactice, tabele comparative ale acțiunilor profesorului și ale elevilor, matrice logice de proiect și modele de lucrări de laborator organizate în manieră constructivistă, toate elaborate și aplicate în condiții reale de predare la Liceul Teoretic „Hyperion” din Chișinău. Această structurare îi conferă lucrării o valoare care depășește cadrul strict al cercetării academice, făcând din ea un instrument util și direct aplicabil în programele de formare inițială și continuă a cadrelor didactice.

Integrarea tehnologiei digitale în predarea fizicii reprezintă unul dintre imperativele majore ale momentului. Dar aceasta aduce riscul de a confunda dotarea tehnologică cu eficiența pedagogică. Prezenta lucrare abordează această temă cu argumente teoretice și empirice: laboratorul de fizică este examinat nu ca un spațiu auxiliar, ci ca mediu central de construire a cunoașterii, este demonstrată mărimea efectului lucrărilor de laborator asupra succesului academic al elevilor, sunt definite elementele unui laborator constructivist modern, iar nivelul înțelegerii conceptuale a elevilor este direct proporțional cu frecvența utilizării laboratorului școlar [194]. Toate acestea au o relevanță deosebită atât pentru profesorii de fizică, cât și pentru decidenții care orientează investițiile în infrastructura educațională.

Unul dintre elementele de originalitate ale prezentei cercetări constă în analiza, din perspectiva construirii, cunoașterii a conținuturilor de fizică modernă, cum ar fi găurile negre, undele gravitaționale sau interferometrul LIGO. Aceste teme deși nu sunt prezente în curricula actuală, generează un interes autentic în rândul elevilor. Cu toate acestea, introducerea lor în predarea fizicii ridică o provocare pedagogică reală: fenomenele respective nu sunt accesibile

observației directe, nu pot fi reproduse experimental în sala de clasă și nu pot fi înțelese prin simpla receptare a unor definiții și formule. Prin natura lor epistemică, ele cer un demers didactic bazat pe modelare, pe interpretarea relațiilor fizice și pe reconstruirea logică a proceselor, adică exact mecanismele pe care constructivismul le plasează în centrul învățării. În acest sens, analiza realizată în această lucrare demonstrează că înțelegerea găurilor negre presupune urmărirea etapelor evolutive ale stelelor și corelarea lor cu condițiile fizice care determină colapsul gravitațional; că descrierea undelor gravitaționale se construiește prin interpretarea parametrilor cunoscuți deja de elevi, amplitudinea și frecvența; că funcționarea interferometrului LIGO devine inteligibilă doar prin explicarea modului în care variații extrem de mici ale lungimii brațelor sunt puse în evidență prin interferență. În fiecare dintre aceste cazuri, înțelegerea nu se obține prin transmitere directă, ci prin legarea progresivă a ideilor, sub ghidarea profesorului. Astfel, fizica modernă este, prin esența ei epistemică, o fizică constructivistă, iar această cercetare argumentează și ilustrează concret cum poate fi ea predată ca atare.

În contextul cercetării pedagogice din Republica Moldova, teza se evidențiază prin integrarea unei componente empirice extinse, bazate pe investigarea eficienței abordărilor constructiviste în condiții reale de predare. Cercetarea cuprinde un experiment pedagogic privind aplicarea Clasei Inversate în clasa a VII-a, un studiu desfășurat pe parcursul anului școlar 2023–2024 pe 195 de elevi din clasele a VI-a, a VIII-a și a X-a și un studiu focalizat asupra relației dintre activitatea de laborator și rezultatele evaluării sumative la 98 de elevi din clasa a VIII-a. Datele colectate, analizate prin coeficientul de corelație Pearson, regresie liniară, testul t-Student și calcularea mărimii efectului, evidențiază rezultate favorabile ale organizării constructiviste în contexte curriculare și la niveluri de școlaritate diferite, precum și asocieri puternice între performanța la lucrările de laborator și rezultatele academice. Prin aceste rezultate, cercetarea oferă argumente empirice și teoretice pentru valorificarea abordărilor constructiviste în predarea fizicii.

În concluzie, importanța prezentei cercetări poate fi sintetizată pe trei niveluri complementare și interdependente. La nivel teoretic, lucrarea oferă o analiză sistematică a constructivismului aplicat la fizică, articulând evoluția paradigmelor educaționale de la antichitate până în secolul XXI, fundamentele epistemice și psihopedagogice ale învățării constructiviste, tipologiile constructivismului (cognitiv, social, radical, pragmatic, cultural, tehnologic și emoțional), precum și principiile care stau la baza înțelegerii conceptuale ca obiectiv central al predării fizicii.

La nivel metodologic, cercetarea propune și detaliază instrumente concrete: modelul lecției constructiviste în format 5E, aplicat temelor din clasele a VII-a și a X-a; modelul IBSE operaționalizat pe tema „Forța de greutate. Pondere”; modelul Clasei Inversate aplicat capitoului

„Echilibrul de rotație”; matrice logice de proiect pentru învățarea bazată pe proiect și pentru IBSE; precum și modele de lucrări de laborator organizate constructivist, cu obiective cognitive explicite și deprinderi de cercetare integrate.

La nivel empiric, cercetarea depășește cadrul demonstrației teoretice și aduce dovezi obținute în condiții reale de predare, pe parcursul unui an școlar complet și la niveluri diferite de școlaritate. Rezultatele evidențiază efecte măsurabile ale aplicării abordărilor constructiviste, precum și relații consistente între activitatea de laborator și performanța academică. Obținerea unor rezultate convergente în cohorte și contexte curriculare diferite susține aplicabilitatea abordărilor investigate în predarea fizicii. Astfel, această triplă relevanță, teoretică, metodologică și empirică, conferă cercetării o valoare care depășește cadrul strict academic, furnizând repere de operaționalizare a constructivismului în predarea fizicii.

Descrierea situației în domeniul de cercetare și identificarea problemei

Din perspectivă teoretică, constructivismul reprezintă una dintre paradigmele majore ale pedagogiei contemporane, fundamentată prin cercetări din psihologia cognitivă, neuroștiințe și didactica științelor. Fundamentele sale teoretice, elaborate de Piaget [165], Vygotsky [196], Bruner [34] și von Glasersfeld [197], au fost rafinate și operaționalizate progresiv, ajungând astăzi să constituie cadrul de referință dominant în proiectarea curriculară și în formarea cadrelor didactice la nivel internațional.

Comunitatea internațională de cercetare în domeniul predării științelor exacte (*Science Education*) a acumulat, în ultimele trei decenii, un corp substanțial de dovezi empirice în favoarea abordărilor constructiviste în învățarea științelor. Studiile lui Hattie [102], Harlen [100], McDermott [138], Redish et al. [172] și Meltzer au demonstrat consecvent că metodele centrate pe înțelegerea conceptuală, pe învățarea prin cercetare și pe implicarea activă a elevului produc rezultate superioare predării tradiționale, atât în termeni de performanță academică, cât și de motivație și interes susținut pentru știință [195; 200]. Aceste cercetări au schimbat fundamental modul în care comunitatea academică înțelege eficiența didactică: este demonstrat că nu calitatea expunerii profesorului, ci calitatea efortului cognitiv al elevului determină profunzimea și durabilitatea învățării. Această soliditate teoretică și empirică îi conferă constructivismului o actualitate care depășește ciclurile obișnuite ale modelor pedagogice.

În literatura pedagogică în limba română și în practica didactică din Republica Moldova, principiile constructiviste sunt tot mai frecvent prezente în discursul curricular și metodologic. Astfel, în spațiul pedagogic românesc, Elena Joița a avut un rol important în fundamentarea și promovarea constructivismului educațional, contribuind la articularea bazelor psihopedagogice și metodologice ale instruirii centrate pe elev [114]. De asemenea, în lucrările Liliane Ciascai se

promovează principiul construirii active a cunoașterii de către elev, bazată pe experiență proprie, efort personal și colaborare [58; 59]. Pornind de la premisele antropologice ale constructivismului, Constantin Cucos subliniază că elevul nu primește pasiv cunoașterea, dar o construiește prin experiență și efort propriu [167]. Sorin Cristea operaționalizează și aplică constructivismul la conceptul educației pentru transformare [64].

În Republica Moldova, conceptul învățării transformatoare, apropiat de principii constructiviste și orientat spre reflecție și participare liberă, este dezvoltat în lucrările Ludmilei Franțuzan [85; 86]. Ion Botgros operaționalizează metodologic constructivismul pentru lecția de fizică, punând accentul pe problematizare și conflict cognitiv [31]. Cercetările lui Mihail Calalb au extins această direcție spre domeniul didacticii fizicii, prin lucrări orientate spre învățarea prin cercetare, metacogniție, modelare și dezvoltarea competențelor de învățare pe tot parcursul vieții [43]. Viorel Bocancea completează această direcție în predarea fizicii, evidențiind rolul cercetării, al experimentului și al rezolvării problemelor reale în construirea activă a cunoașterii și în implicarea cognitivă a elevului în procesul de învățare [23]. Astfel, prezenta cercetare se înscrie în acest curent global, aducând date empirice din școala moldovenească și contribuind astfel la o imagine mai completă și mai nuanțată a eficienței constructivismului în condiții educaționale diverse.

Totuși, aplicarea constructivismului la predarea fizicii rămâne insuficient sistematizată la nivelul unui model care să coreleze fundamentele teoretice cu organizarea concretă a procesului didactic [39; 207]. Din această perspectivă, prezenta cercetare contribuie la articularea unui astfel de cadru metodologic pentru predarea constructivistă a fizicii.

Întrebările motrice fundamentale ale cercetării sunt următoarele:

1. *De ce înțelegerea conceptuală la fizică rămâne superficială în ciuda eforturilor didactice ale profesorilor?* Aceasta este întrebarea de pornire a întregii cercetări. Observația că elevii reproduc formule și definiții fără a putea explica fenomenele fizice sau aplica cunoștințele în contexte noi a constituit impulsul inițial al cercetării. Răspunsul formulat în teză identifică cauza principală nu în dificultatea intrinsecă a disciplinei, ci în predominanța predării tradiționale, care neglijează efortul cognitiv al elevului, cunoștințele anterioare și metacogniția ca mecanisme esențiale ale înțelegerii.

2. *Ce anume face ca o strategie didactică să fie mai eficientă decât alta în predarea fizicii?* Această întrebare a condus la construirea scării paradigmelor educaționale, unul dintre elementele de noutate științifică ale tezei. Analiza teoriei *Predării și Învățării Vizibile* [102] a arătat că diferența dintre strategii nu ține de forma lor exterioară, ci de gradul de implicare cognitivă a

elevului și de calitatea feedbackului: de la *Learning by Doing* (efect $\sim 0,35$), la *Learning by Understanding* ($\sim 0,80$) și *Learning by Being* ($\sim 0,80-1,30$).

3. *Cum poate fi organizată concret lecția de fizică astfel încât elevul să devină constructor activ al propriei cunoașteri, nu receptor pasiv?* Răspunsul la această întrebare s-a materializat în analiza detaliată a modelului 5E, a metodei IBSE și a Clasei Inversate, cu exemple aplicative la teme din clasele a VII-a și a X-a, cu tabele ale acțiunilor profesorului și ale elevilor și cu matrice logice de proiect, instrumente care operaționalizează principiile constructiviste.

4. *În ce măsură cadrul curricular oficial din Republica Moldova susține cu adevărat o predare constructivistă a fizicii?* Concluzia cercetării este că orientarea constructivistă există în documentele curriculare analizate, dar este distribuită inegal și insuficient operaționalizată. Strategii cu eficiență dovedită nu sunt menționate explicit, lăsând profesorul fără repere metodologice clare.

5. *Este aplicarea consecventă a abordărilor constructiviste asociată cu rezultate măsurabile ale performanței academice a elevilor la niveluri diferite de școlaritate?* Aceasta este întrebarea empirică centrală a cercetării, căreia îi răspund studiile și analizele statistice din capitolul 3, paragraful 3.3. Rezultatele evidențiază valori favorabile la toate cele trei niveluri de școlaritate analizate: media notelor la lucrările de laborator variază de la 7,11 în clasa a VI-a la 8,27 în clasa a X-a; corelațiile Pearson dintre performanța la lucrările de laborator și rezultatele evaluărilor sumative ating valori de până la $r = 0,836$, iar analiza de regresie arată că performanța la laborator explică până la 69,8% din variația rezultatelor la evaluare.

6. *Care este rolul specific al laboratorului de fizică în construirea cunoașterii și în ce măsură activitatea experimentală este asociată cu succesul academic?* Această întrebare a orientat atât analiza teoretică a tipurilor de laborator, cât și cercetarea empirică privind electrocinetica. Răspunsul formulat în teză este că laboratorul nu este un spațiu auxiliar al lecției, ci un mediu central de construire a cunoașterii, iar performanța la lucrarea de laborator este un predictor statistic puternic al succesului academic, explicând aproximativ 35,7% din variabilitatea notelor la evaluarea sumativă în studiul electrocineticii.

7. *Impun conținuturile de fizică modernă, prin natura lor epistemică, un demers didactic constructivist?* Această întrebare, mai puțin frecventă în literatura de specialitate, a determinat paragraful 3.2 a tezei. Analiza găurilor negre, a undelor gravitaționale și a interferometrului LIGO a demonstrat că aceste fenomene, inaccesibile observației directe și nereproductibile experimental în sala de clasă, nu pot fi înțelese prin predare tradițională. Ele impun în mod necesar modelarea, interpretarea relațiilor fizice și reconstruirea logică a proceselor,

transformând constructivismul din opțiune metodologică în condiție epistemică a înțelegerii fizicii moderne.

Obiectul cercetării îl constituie procesul didactic al învățării fizicii în cadrul lecției, analizat prin prisma aplicării strategiilor constructiviste de predare.

Scopul cercetării constă în determinarea premiselor teoretice, metodologice și didactice ale organizării învățării constructiviste a fizicii.

Obiectivele tezei

1. Analizarea fundamentelor teoretico-didactice ale constructivismului în predarea fizicii, prin evidențierea mecanismelor cognitive implicate în învățarea activă, a rolului feedback-ului și a relației dintre paradigmele educaționale și formele de predare.
2. Modelarea și ierarhizarea paradigmelor educaționale în funcție de efectul lor asupra învățării, prin construirea unei scări care evidențiază trecerea de la învățarea prin acțiune la învățarea prin asumarea obiectivelor cognitive, cu valori diferențiate ale impactului.
3. Proiectarea metodologică a lecției de fizică pe baza principiilor constructiviste, prin integrarea modelului 5E, a activității de laborator organizate ca proces de cercetare științifică, cu accent pe investigare, colaborare și reflecție.
4. Validarea empirică a impactului organizării constructiviste asupra performanței elevilor, prin corelarea activității de laborator și a strategiilor didactice cu rezultatele academice, utilizând analize statistice și evidențiind consistența rezultatelor la niveluri diferite de școlaritate.
5. Examinarea funcționării constructivismului în cadrul curricular și identificarea limitelor aplicării sale, prin analiza distribuției dimensiunilor constructiviste între Concepție, Curriculum și Ghid și prin evidențierea pierderilor diferențiate în procesul de implementare.
6. Explorarea specificului epistemic al conținuturilor de fizică modernă și a implicațiilor acestuia asupra înțelegerii, prin investigarea modului în care fenomenele inaccesibile observației directe impun modelarea, interpretarea relațiilor și integrarea conceptelor fundamentale în explicații complexe.

Ipoteza cercetării

Integrarea principiilor constructiviste în predarea fizicii, printr-o organizare centrată pe activitatea elevului, pe feedback constant și pe dezvoltarea metacogniției, are potențialul de a transforma radical procesul de învățare, conducând la o înțelegere conceptuală mai profundă și la rezultate academice superioare. Se consideră că progresul elevilor se realizează nu prin receptarea pasivă a cunoștințelor, ci prin implicarea lor activă în investigare, explicare și confruntarea ideilor, ceea ce conferă lecției de fizică un caracter viu, dinamic și creator. Validarea empirică a acestei ipoteze este așteptată să confirme existența unor corelații puternice între modul de organizare a

învățării și performanța obținută, demonstrând că abordarea constructivistă nu este doar o opțiune metodologică, ci o condiție esențială pentru formarea unei înțelegeri autentice în fizica modernă.

Reperetele epistemologice ale cercetării delimitează cadrele de interpretare, instrumentele de analiză și modelele operaționale ale intervenției.

Cadre de interpretare

- **Constructivismul didactic**, înțeles ca fundament al predării fizicii, prin care cunoașterea se constituie nu din transmiterea pasivă a informației, ci din implicarea elevului în procese de gândire, explicare, comparare și confruntare a propriilor idei, ceea ce conferă învățării un caracter activ și progresiv.
- **Evoluția paradigmatelor educaționale**, privită ca un continuum istoric și metodologic, în care fiecare etapă, de la observarea empirică și fenomenologică până la laboratorul școlar și strategiile moderne, păstrează trăsăturile celei precedente, dar le reconfigurează în structuri noi, orientate spre învățarea activă și prin colaborare.
- **Teoria feedbackului și a învățării vizibile**, care stabilește o relație directă între intensitatea și calitatea feedbackului și performanța academică, confirmând că învățarea autentică se sprijină pe comunicarea bidirecțională și pe reglarea continuă a procesului didactic.
- **Modelele metacognitive ale învățării**, care pun în lumină rolul autoreglării și al reflecției elevilor asupra propriului parcurs cognitiv, configurând metacogniția ca instrument indispensabil în aprofundarea și stabilizarea înțelegerii conceptuale.
- **Dimensiunile multidimensionale ale cunoașterii**, conceptuală, procedurală și axiologică, integrate în proiectarea lecției prin corelarea obiectivelor, activităților și rezultatelor, ceea ce transformă actul didactic într-o matrice logică de formare și aplicare.
- **Abordarea epistemică a fizicii moderne**, care arată că fenomenele inaccesibile observației directe și verificării experimentale impun recursul la modelare, interpretarea relațiilor și corelarea mărimilor, transformând constructivismul din opțiune metodologică într-o condiție a înțelegerii.
- **Modelele operaționale ale predării constructiviste**, precum modelul 5E, clasa inversată și IBSE, care structurează lecția prin faze succesive de implicare, explorare, explicare, elaborare și evaluare, adaptând nivelul de autonomie al elevului și rolul profesorului ca facilitator.

Instrumente de analiză

- **Analiza cognitiv-didactică**, orientată spre identificarea mecanismelor interne ale înțelegerii conceptuale și a modului în care efortul cognitiv, cunoștințele preexistente și metacogniția se articulează în nucleul funcțional al procesului de învățare.

- **Analiza statistic-empirică**, utilizată pentru validarea impactului organizării constructiviste asupra performanței elevilor, prin corelarea rezultatelor academice cu structura activităților didactice și prin examinarea relațiilor dintre variabile și a consistenței rezultatelor la niveluri diferite de școlaritate.
- Examinarea cadrului curricular, prin analiza distribuției dimensiunilor constructiviste între Concepție, Curriculum și Ghid, cu identificarea pierderilor și incoerențelor în transpunerea didactică.

Modele operaționale de intervenție

- Modelul 5E, care structurează lecția de fizică în etape succesive de implicare, explorare, explicare, elaborare și evaluare, asigurând progresia firească de la curiozitate la consolidarea cunoașterii.
- Clasa inversată, care reorganizează raportul dintre activitatea individuală și cea de grup, transferând partea de informare către studiul independent și rezervând timpul de clasă pentru aplicare, colaborare și reflecție.
- Învățarea științelor prin metoda cercetării (IBSE), care transformă laboratorul de fizică într-un spațiu de investigare autentică, unde elevii formulează întrebări, proiectează experimente și își construiesc explicațiile prin confruntarea cu datele obținute.
- Învățarea problematizată și bazată pe proiecte, care plasează elevul în situații complexe, solicitând gândire critică, integrarea cunoștințelor și colaborarea pentru soluționarea unor probleme reale.

Metodologia cercetării se bazează pe trei tipuri de metode: de fundamentare, sau teoretice, utilizate pentru documentarea și sistematizarea conceptelor constructiviste; de aplicare, sau empirice, concretizate în experiment pedagogic, observații și studii realizate în condiții reale de predare, cu analiza rezultatelor academice ale elevilor; de validare, sau statistice, utilizate pentru compararea rezultatelor între grupuri, analiza progresului elevilor și examinarea relațiilor dintre variabilele investigate.

Componenta empirică a cercetării a inclus următoarele eșantioane:

- 195 de elevi din Liceul Teoretic „Hyperion” din orașul Durlești, municipiul Chișinău, inclusiv 93 de elevi din clasele a VI-a, 72 de elevi din clasele a VIII-a și 30 de elevi din clasa a X-a, incluși într-un studiu desfășurat pe parcursul anului școlar 2023–2024, pentru analiza rezultatelor academice în contextul aplicării abordărilor constructiviste integrate și al activităților de laborator.

- 98 de elevi din același liceu, din clasele a VIII-a, incluși într-un studiu focalizat asupra relației dintre performanța la lucrarea de laborator și rezultatele evaluării sumative la capitolul „Electrocinetica”.
- 71 de elevi din același liceu, din clasele a VII-a, dintre care 35 în grupul experimental și 36 în grupul de control, incluși în experimentul pedagogic privind aplicarea metodei Clasa Inversată la predarea capitolului „Echilibrul de rotație”.

Verificarea ipotezei cercetării s-a realizat prin integrarea rezultatelor obținute în investigații empirice complementare: experimentul pedagogic privind aplicarea Clasei Inversate, cu grup experimental și grup de control și măsurări inițiale și finale; analiza rezultatelor academice obținute pe parcursul anului școlar de cohortele din clasele a VI-a, a VIII-a și a X-a în contextul aplicării abordărilor constructiviste; studiul focalizat asupra relației dintre performanța la lucrarea de laborator și rezultatele evaluării sumative la Electrocinetică. Prelucrarea datelor prin metode statistice a permis compararea rezultatelor, evaluarea progresului și examinarea relațiilor dintre variabilele investigate.

Noutatea științifică a tezei constă în:

1. Propunerea și fundamentarea scării paradigmelor educaționale constructiviste, care, în funcție de mărimea efectului, ierarhizează procesul de învățare a fizicii în trei trepte progresive: învățarea activă, învățarea prin înțelegere și învățarea prin asumarea obiectivelor cognitive.
2. Formularea triadei operaționale a învățării constructiviste a fizicii, fundamentate pe interdependența dintre efortul cognitiv al elevului, valorificarea cunoștințelor anterioare și metacogniție, completată de instituirea feedbackului ca mecanism central de reglare a învățării.
3. Operaționalizarea didactică a constructivismului în lecția de fizică, prin corelarea acțiunilor profesorului cu procesele cognitive ale elevilor în cadrul unor strategii didactice bazate pe cercetare, interacțiune și reflecție.
4. Validarea empirică a strategiilor constructiviste în predarea fizicii, prin demonstrarea impactului acestora asupra performanței elevilor și a rolului profesorului ca facilitator al învățării.
5. Fundamentarea specificului didactic al predării conținuturilor de fizică modernă, prin caracterizarea modului de construire a cunoașterii bazat pe modelare, interpretarea fenomenelor și stabilirea relațiilor fizice.
6. Evidențierea dinamicii transpunerii dimensiunilor constructiviste (statutul elevului, construirea cunoașterii, interacțiunea și rolul profesorului) în documentele curriculare de fizică, prin analiza transformării acestora de la nivel conceptual la nivel structural și operațional.

Importanța teoretică a cercetării constă în:

- fundamentarea unei perspective evolutive asupra paradigmelor constructiviste în predarea fizicii;
- aprofundarea rolului înțelegerii conceptuale, efortului cognitiv, metacogniției și feedbackului în învățarea constructivistă a fizicii;
- integrarea modelelor de învățare prin cercetare, investigare și reflecție într-o concepție unitară constructivistă a lecției de fizică;
- interpretarea lecției și laboratorului de fizică ca spații epistemice de investigare, argumentare și construire colectivă a sensului științific;
- evidențierea rolului activității experimentale ca factor al dezvoltării performanței academice în învățarea fizicii.

Valoarea practică a cercetării constă în:

- dezvoltarea unui cadru de analiză a principiilor constructiviste în documentele curriculare de fizică, aplicabil în evaluarea și proiectarea curriculumului școlar;
- elaborarea reperelor metodologice pentru organizarea constructivistă a lecției și laboratorului de fizică, prin integrarea investigării, reflecției și activității experimentale în procesul de învățare;
- validarea empirică a eficienței activităților experimentale și a abordărilor constructiviste în dezvoltarea performanței academice la fizică;
- valorificarea modelării și a reprezentărilor conceptuale în predarea unor teme de fizică contemporană, precum găurile negre și undele gravitaționale.

Aprobarea rezultatelor cercetării a fost realizată prin comunicări la conferințe științifice naționale și internaționale, în cadrul ședințelor Seminarului Metodologic Republican al profesorilor de fizică și articole științifice publicate în reviste naționale și internaționale.

Publicații la tema tezei. Rezultatele cercetării sunt reflectate în 10 lucrări științifice.

Volumul și structura tezei. Teza conține: introducere, trei capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie (214 de titluri), 13 anexe, 31 de tabele și 18 figuri, 140 de pagini de text de bază.

Capitolul 1, „Aspecte teoretico-didactice ale constructivismului în predarea fizicii”, fundamentează cadrul teoretic al cercetării prin analiza paradigmelor educaționale și a evoluției istorice a concepțiilor despre învățare și predare în fizică. Sunt examinate conceptul de paradigmă educațională și transformările produse în raportul dintre profesor, elev și cunoaștere, de la modelele tradiționale la abordările constructiviste moderne. Capitolul analizează constructivismul

ca bază teoretică a didacticii moderne și evidențiază modalitățile de aplicare a acestuia în lecția de fizică. Sunt examinate înțelegerea conceptuală, efortul cognitiv, feedbackul și metacogniția ca mecanisme ale învățării constructiviste și este prezentată structura lecției constructiviste prin modelul 5E. De asemenea, este analizat laboratorul de fizică drept mediu constructivist de învățare, fiind evidențiate rolul activităților experimentale, al învățării active și al organizării investigației în dezvoltarea unei înțelegeri științifice autentice.

Capitolul 2, „Baze metodologice ale aplicării constructivismului în predarea fizicii”, examinează fundamentele epistemice și psihopedagogice ale învățării constructiviste și analizează modul în care acestea se reflectă în organizarea lecției de fizică. Sunt prezentate principiile constructivismului, relația dintre înțelegerea conceptuală, metacogniție, feedback și învățarea prin cercetare, precum și structura multidimensională a cunoașterii: conceptuală, procedurală și axiologică. Capitolul descrie modelul de instruire 5E ca expresie operațională a constructivismului și evidențiază rolul întrebării, al explorării, al experimentului și al reflecției în construirea cunoașterii științifice. Sunt analizate modele didactice constructiviste precum Clasa Inversată, învățarea pe bază de proiect, învățarea prin cercetare și învățarea și predarea vizibilă, fiind comparate mecanismele prin care acestea organizează activitatea cognitivă a elevilor. De asemenea, sunt prezentate aplicații ale acestor abordări în predarea fizicii: experimentul pedagogic privind implementarea modelului Clasei Inversate la predarea capitolului „Echilibrul de rotație” și proiectarea unei lecții IBSE la tema „Forța de greutate. Ponderea”, evidențiindu-se rolul activității de investigare, al colaborării și al feedbackului în organizarea învățării.

Capitolul 3, „Analiza și validarea abordărilor constructiviste în învățarea fizicii”, este consacrat analizei și validării abordărilor constructiviste în învățarea fizicii. În prima parte sunt analizate documentele curriculare naționale din perspectiva statutului elevului, a construirii cunoașterii, a interacțiunii și argumentării științifice, precum și a rolului profesorului în organizarea activităților de învățare. Capitolul examinează apoi posibilitățile de construire a cunoașterii științifice în predarea unor conținuturi de fizică modernă și astrofizică, prin utilizarea explorării, modelării și reprezentărilor conceptuale în lecția de fizică. În partea empirică sunt analizate rezultatele academice obținute în contextul aplicării abordărilor constructiviste și relațiile dintre variabilele de evaluare la niveluri diferite de școlaritate, precum și relația dintre performanța la lucrarea de laborator și rezultatele evaluării sumative în studiul Electrocineticii.

În „Concluzii generale și recomandări” sunt sintetizate rezultatele teoretice, metodologice și empirice ale cercetării privind aplicarea constructivismului în predarea fizicii. Sunt formulate concluzii referitoare la evoluția paradigmelor educaționale, rolul înțelegerii conceptuale, al feedbackului și al metacogniției în învățare, organizarea constructivistă a lecției și a laboratorului

de fizică, precum și la funcționarea dimensiunilor constructiviste în documentele curriculare. De asemenea, sunt prezentate rezultatele investigațiilor empirice privind aplicarea abordărilor constructiviste și relația dintre activitatea experimentală și performanța academică. În baza acestor concluzii sunt formulate recomandări pentru dezvoltarea curriculumului, formarea profesorilor și organizarea procesului de predare și învățare a fizicii.

1. ASPECTE TEORETICO-DIDACTICE ALE CONSTRUCTIVISMULUI ÎN PREDAREA FIZICII

1.1. Paradigme educaționale în predarea fizicii

1.1.1 *Conceptul de paradigmă educațională*

Educația reprezintă un domeniu dinamic, reflectând schimbările din societate și nevoile de dezvoltare ale elevilor. Acest domeniu evoluează continuu, influențat de curențe filosofice, teorii pedagogice, și progresele în știință și tehnologie. În acest context, se urmărește examinarea evoluției paradigmelor educaționale și realizarea unei analize detaliate a acestora.

Noțiunea de „paradigmă” a fost propusă de Thomas S. Kuhn, filosof și istoric al științei, în volumul său apărut în 1962, „The Structure of Scientific Revolutions” [129]. În accepțiunea lui Kuhn, „paradigma” desemnează ansamblul de practici și norme care definesc știința într-o etapă dată. El susține că modificările de paradigmă sunt expresia progreselor înregistrate într-un domeniu științific. Pornind de la această perspectivă, ne propunem să urmărim evoluția paradigmelor din educație, cu o atenție deosebită acordată predării fizicii.

Deși termenul „paradigmă educațională” este frecvent utilizat și a devenit comun, el nu este atribuit unui cercetător specific, fiind un derivat al conceptului general de paradigmă propus de Kuhn. Cu toate acestea, mai mulți autori au investigat și descris schimbările de paradigmă în educație. De exemplu, Kieran Egan [76] a contribuit la înțelegerea dezvoltării curriculare, Michael Fullan [90] a dezvoltat teoria schimbărilor sistemice în educație, iar în România, Ioan Cerghit [52] a avansat didactica modernă, Ștefan Bărsănescu [10] a promovat educația integrală și învățarea pe tot parcursul vieții, iar Constantin Cucos [66] este cunoscut pentru lucrările sale în pedagogie și didactică generală.

Modul în care s-au succedat paradigmele educaționale în predarea fizicii și a științelor exacte a constituit obiect de studiu pentru mai mulți cercetători. Printre aceștia se numără Peter J. Fensham, preocupat de transformările din educația științifică și de evaluarea paradigmelor educaționale [82]. O contribuție însemnată aparține și lui John L. Rudolph, care a abordat istoria predării științelor, urmărind totodată felul în care au evoluat paradigmele în predarea fizicii [178].

Numeroși autori au conturat metodologia și abordările pedagogice specifice predării fizicii. Edward F. Redish a transferat conceptele educaționale generale în câmpul predării fizicii [172]. O amprentă profundă asupra cercetării din didactica fizicii au lăsat Lillian C. McDermott și colaboratorii săi [138], în timp ce David E. Meltzer și Ronald K. Thornton au urmărit conturarea conceptului de învățare activă în fizică [139]. Un aport considerabil la didactica fizicii a venit și din Uniunea Sovietică. Aici s-au remarcat Isaak I. Kikoin, autor de manuale școlare, Yakov Perelman, cunoscut pentru cărțile de popularizare a fizicii care încă atrag interesul elevilor, și Boris

V. Belyaev, apreciat pentru integrarea experimentelor în predare. Lucrările lor au avut o influență majoră asupra fizicii pe plan mondial.

1.1.2 Evoluția istorică a paradigmelor educaționale

Educația tradițională din Antichitate până în Evul Mediu, caracterizată prin accentul pe memorarea strictă și transmiterea pasivă a cunoștințelor, se opune puternic principiilor constructivismului [146]. Totuși, există legături și influențe reciproce între aceste paradigme, mai ales prin contribuțiile unor filosofi precum Socrate, Platon și Aristotel.

Bunăoară, metoda socratică se sprijină pe întrebări și răspunsuri menite să stimuleze gândirea critică și autodescoperirea, ceea ce o apropie de principiile constructiviste ale învățării active și ale reflecției. Din acest motiv, ea poate fi privită ca un precursor al constructivismului, întrucât încurajează dobândirea cunoștințelor prin descoperire și explorare. La aceasta se adaugă accentul pe care metoda socratică îl pune pe dialogul interactiv și pe participarea activă a elevului, elemente la fel de importante în constructivism.

Într-un mod apropiat de abordările constructiviste moderne, Platon prezintă metoda dialectică drept un proces de învățare interactiv și exploratoriu, în care prioritare devin formarea gândirii critice și înțelegerea aprofundată, iar nu memorarea mecanică. La rândul său, Aristotel, prin importanța acordată observației empirice și înțelegerii logice a lumii, pledează pentru o cale metodică și rațională de acces la cunoaștere. Această viziune se armonizează cu ideea constructivistă potrivit căreia cunoașterea se edifică pornind de la experiență și de la interacțiunea cu mediul.

Prin descoperirile sale, Arhimede a adus o contribuție însemnată la progresul fizicii și al educației. Cunoștințele elaborate de el, precum pârghia lui Arhimede sau legea lui Arhimede, au fost mai târziu ordonate și transmise într-o manieră pasivă în cadrul unor sisteme educaționale rigide.

Apărută în perioada Renașterii, *educația umanistă* sau centrată pe elev pune accent, asemenea constructivismului, pe dezvoltarea individuală, pornind de la premisa că elevii își construiesc cunoștințele prin experiențe și reflecții proprii. Programul „*Studia humanitatis*” specific umanismului, orientat spre gândirea critică și explorarea ideilor, se dovedește în consonanță cu abordările constructiviste.

Concepțiile lui Giovanni Pico della Mirandola [166], potrivit cărora ființa umană își poate modela propriul destin prin educație și autocunoaștere, se află în rezonanță cu principiul constructivist. Acesta afirmă că fiecare elev este în măsură să își edifice singur cunoștințele și să își valorifice potențialul unic prin experiențe personale și învățare activă.

La rândul său, Erasmus din Rotterdam a pledat pentru cultivarea spiritului critic și a introspecției, valori care stau și la temelia constructivismului [78]. O poziție convergentă adoptă Francesco Petrarca, care accentuează însemnătatea împlinirii personale prin cercetarea disciplinelor umaniste, orientare ce se potrivește cu preceptele constructiviste privind învățarea autonomă și meditația reflexivă.

Cu toate că, sub multe aspecte, umanismul poate fi socotit un precursor al constructivismului, acesta rămânea axat pe studiul textelor clasice și nu a elaborat metodologii pedagogice amănunțite, reprezentând o ilustrare a scolasticii.

Chiar dacă nu a enunțat teorii fizice după modelul fizicienilor clasici, Leonardo da Vinci a rămas renumit pentru cercetările sale despre aerodinamică, despre lumină și umbre, pentru consemnările astronomice, dar și pentru analiza forței ce acționează asupra corpurilor, a oscilației pendulelor și a altor mecanisme. Aceste preocupări aveau să lase o amprentă asupra operei lui Galileo Galilei și a lui Isaac Newton.

Caracteristicile de bază ale educației din Antichitate și Renaștere sunt prezentate în Tabelul. 1.1.

Tabelul 1.1. Educația în Antichitate și Renaștere

I. Educația clasică (Antichitate – Evul Mediu)		
<i>Caracteristici de bază</i> • Memorare rigidă • Transmiterea pasivă a cunoștințelor.	<i>Metoda socratică</i> • Întrebări și răspunsuri • Gândirea critică • Învățarea prin descoperire. <i>Metoda dialectică (evul Mediu)</i> • Învățarea interactivă, prin explorare • Gândirea critică • Înțelegerea conceptuală.	<i>Predarea fizicii</i> • Observarea empirică • Înțelegerea logică a lumii • Experiența – la baza cunoașterii.
II. Educația umanistă (Renaștere)		
<i>Caracteristici de bază</i> • Apariția centrării pe elev • Gândirea critică • Explorarea ideilor.	<i>Reprezentanți importanți</i> <i>G. Pico della Mirandola</i> • Construirea propriei cunoașteri • Învățarea activă <i>Erasmus din Rotterdam</i> • Gândirea critică, reflexia personală <i>F. Petrarca</i> • Dezvoltarea personală prin studiere.	<i>Predarea fizicii</i> • Observarea fenomenologică • Integrarea cu matematica, mecanica, anatomia, etc. • Studiarea clasicilor (Aristotel, Ptolemeu)

Orientată spre rațiune și știință, *educația iluministă* din secolele XVII-XVIII pleda, întocmai ca și constructivismul din secolul XX, pentru difuzarea cunoștințelor în rândul unei populații cât mai largi și concepea educația drept un instrument de formare a individului. Ea acorda o însemnătate deosebită gândirii critice și autonome, respingând însușirea necritică a

dogmelor. Totuși, iluminismul nu a dezvoltat metode de predare specifice, ci a promovat principiile generale ale unei educații bazate pe rațiune și cunoaștere.

Astfel, în concepția lui John Locke, educația avea menirea de a modela rațiunea și simțul moral, idee care se întâlnește cu interesul constructivist pentru formarea integrală a persoanei [131]. Jean-Jacques Rousseau acorda întâietate deprinderii cunoștințelor prin experiență directă [177], pe când Voltaire întrevedea în rațiune și în cunoaștere adevărate arme împotriva superstițiilor și a neștiinței.

Considerat unul dintre cei mai de seamă fizicieni și matematicieni din istorie, Isaac Newton s-a remarcat prin contribuții esențiale în mecanică, gravitație, optică și matematică. Tratatul său „*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*” (1687) constituie un moment de referință în evoluția fizicii și a științei în ansamblu. Amprenta indirectă pe care Newton a lăsat-o asupra constructivismului este notabilă, manifestându-se pe două căi: a) prin conturarea metodei științifice și prin importanța acordată cunoașterii empirice; b) prin orientarea spre descoperire în educație, care a favorizat rolul activ al elevului în lecțiile de fizică, acolo unde acesta explorează, experimentează și reflectează asupra propriei experiențe.

Specifică Romantismului, la cumpăna dintre secolele XVIII și XIX, *educația holistică* a acordat întâietate trăirii personale și afectivității în procesul instructiv. Asemenea constructivismului, romantismul atribuie emoțiilor un rol de seamă, întrucât învățarea autentică presupune și maturizare emoțională; totodată, stările afective modelează interesul și motivația pentru studiu. Tot în romantism își află obârșia și ideea de a așeza în centrul educației trebuințele și preocupările copilului.

Gânditorul și pedagogul Johann Heinrich Pestalozzi a evidențiat rolul experiențelor concrete în dezvoltarea cognitivă și afectivă a copiilor [158]; el pleda pentru educația holistică și încuraja învățarea prin activități practice și situații concrete. La rândul său, Friedrich Froebel, întemeietorul grădiniței, a conceput un sistem întemeiat pe jocuri și activități care stimulau deopotrivă dezvoltarea emoțională și pe cea cognitivă, așezând astfel temeliile educației ludice [89].

Preocupat de structurarea logică a cunoașterii, Johann Friedrich Herbart a conceput procedee prin care informația să fie ordonată și expusă într-o manieră clară și ușor de asimilat, atrăgând atenția asupra rolului predării și al disciplinelor bine articulate în educație, fără a neglija ponderea interesului și a motivației în actul învățării. În predarea fizicii, una dintre moștenirile valoroase ale romantismului constă în apelul la experimente inventive, capabile să trezească atașamentul emoțional al elevilor față de tema abordată.

Printre fizicienii de seamă ai epocii romantismului se numără Amedeo Avogadro, remarcant prin numărul Avogadro și legea lui Avogadro, contribuții care au influențat considerabil consolidarea chimiei moleculare și a teoriei cinetice a gazelor.

Caracteristicile de bază ale educației din sec. XVII – începutul sec. XIX sunt date în Tabelul. 1.2.

Tabelul 1.2. Educația iluministă și holistică

III. Educația iluministă (sec. XVII – XVIII)		
<i>Caracteristici de bază</i> • Educația – mijloc de dezvoltare a personalității • Gândirea critică și independentă.	<i>Reprezentanți importanți</i> John Locke • Dezvoltarea rațiunii și moralității Jean-Jacques Rousseau • Învățarea prin experiență directă Voltaire (François-Marie Arouet) • Combaterea ignoranței prin rațiune și cunoaștere.	<i>Predarea fizicii</i> • Experiment și raționament • Influența lui Newton • Popularizarea științei.
IV. Educația holistică (sfârșitul sec. XVIII – începutul sec. XIX)		
<i>Caracteristici de bază</i> • Centrarea pe necesitățile elevului • Învățarea autentică include emoția.	<i>Reprezentanți importanți</i> Johann Heinrich Pestalozzi • Educația holistică • Rolul experienței proprii în dezvoltarea cognitivă. Friedrich Froebel • Ideea grădiniței • Educația ludică pentru dezvoltarea emoțională și cognitivă. Johann Friedrich Herbart • Organizarea și sistematizarea cunoștințelor în discipline • Importanța interesului și motivației.	<i>Predarea fizicii</i> • Apariția experimentului creativ • Conectarea emoțională cu subiectul învățării • Accent pe mecanica clasică • Accent pe aplicarea în industrie.

Educația tradițională și eficientistă din epoca industrială, care s-a întins din secolul XIX până la începutul secolului XX, se distinge printr-o înclinație spre standardizare și randament, menită să pregătească elevii pentru exigențele societății industriale. Întrucât această societate avea nevoie de muncitori alfabetizați și disciplinați, școlile erau structurate după tipare rigide, cu programe fixe, colective numeroase de elevi și un accent apăsător pe disciplină. Curriculumul avea un caracter standardizat și viza însușirea competențelor fundamentale: cititul, scrisul și socotitul. Predarea se desfășura frontal, elevului revenindu-i un rol pasiv în receptarea informației, verificările erau dese, iar testările standardizate se întemeiau pe reproducerea conținuturilor.

Educația din epoca industrială a fost marcată de contribuția unor personalități de prim-plan, între care Horace Mann, John Dewey și Émile Durkheim. Cel dintâi și-a legat numele de promovarea unui învățământ cu caracter obligatoriu și standardizat [71; 132]. O poziție diferită

adoptă John Dewey, care a acordat întâietate punerii în practică a ideilor și explorării experimentale în drumul spre cunoaștere [71]. Cât despre Émile Durkheim, acesta concepea educația drept vehicul pentru transmiterea valorilor și a normelor din societate.

Modul în care se realizează astăzi predarea fizicii, un demers uniformizat și orientat spre formarea competențelor solicitate de piața muncii, își are originea în perioada industrializării. De-a lungul acestei etape, fizica clasică a înregistrat o evoluție accelerată, susținută de aportul unui șir de savanți de prestigiu, între care se numără James Clerk Maxwell, Michael Faraday, William Thomson (Lord Kelvin), Heinrich Hertz, Marie Curie și alții.

Astfel, James Clerk Maxwell s-a remarcat prin stabilirea ansamblului de ecuații care descriu câmpul electromagnetic, prin determinarea vitezei de propagare a undelor electromagnetice, prin fundamentarea teoriei cinetice a gazelor pe baza distribuției Maxwell-Boltzmann, dar și prin conceperea diagramei Maxwell din termodinamică.

În Tabelul. 1.3 sunt prezentate trăsăturile de bază ale educației tradiționale și eficiente.

Tabelul 1.3. Educația tradițională și eficientistă din epoca industrială

V. Educația tradițională și eficientistă (sec. XIX – începutul sec. XX)		
<i>Caracteristici de bază</i> • Apariția orarului • Curriculum standardizat • Predarea frontală • Învățare prin memorare și repetare • Teste standard • Examinare frecventă • Apariția școlilor profesionale.	<i>Reprezentanți importanți</i> Horace Mann • Sistem școlar obligator și standardizat. - John Dewey • Învățarea activă • Activități practice • Soluționarea problemelor reale. - Émile Durkheim • Importanța disciplinei și formării morale • Structurarea și sistematizarea curriculumului.	<i>Predarea fizicii</i> • Predare frontală • Rolul pasiv al elevului – memorizarea legilor și formulelor • Lipsa experimentului • Accent pe competențe tehnice pentru piața muncii.

Curentul *educației progresiste*, conturat în prima jumătate a secolului al XX-lea, se caracterizează prin centrarea pe necesitățile și preocupările elevilor, prin susținerea unei învățări active bazate pe experiență, prin cultivarea gândirii critice și formarea deprinderilor de soluționare a problemelor, dar și prin promovarea cooperării în interiorul clasei și al comunității.

John Dewey, evocat mai sus în legătură cu educația industrială, a exercitat un impact considerabil asupra educației progresiste, susținând învățarea întemeiată pe experiență, antrenarea activă a elevilor în propriul proces de instruire și cultivarea capacităților de gândire critică [30]. Într-un mod asemănător, metoda Mariei Montessori, orientată spre autonomia elevului și autodirijarea în învățare, ilustrează aceeași centrare pe elev.

Concepțiile lui Jean Piaget au fost încorporate în curriculumul structurat pe stadiile de dezvoltare, în învățarea prin descoperire și în abordarea interactivă și cooperativă, cuprinzând deopotrivă învățarea ludică pentru formarea competențelor cognitive și sociale, precum și evaluarea formativă. Totodată, Lev Vygotsky a propus noțiuni de referință, cum ar fi învățarea prin cooperare menită să lărgască „zona proximei dezvoltări” a elevului, subliniind funcția cadrului didactic de îndrumător și facilitator al învățării, nu doar de transmițător de cunoștințe, și evidențiind însemnătatea limbajului în dezvoltarea cognitivă și în procesul de învățare [198].

Dezvoltarea fizicii în acest interval a fost marcată de elaborarea teoriei relativității și de avansurile obținute în mecanica cuantică. Predarea disciplinei se distingea prin lecții frontale, prin demonstrații efectuate de profesor, prin folosirea laboratoarelor școlare de fizică și prin recurgerea pe scară largă la manuale care cuprindeau exerciții aplicative și probleme. Evaluarea viza cu precădere întrebări de ordin teoretic și probleme practice, accentuând asimilarea noțiunilor esențiale și transpunerea lor în contexte variate.

Proliferarea educației progresiste în a doua jumătate a secolului al XX-lea se remarcă prin perfecționarea metodelor de învățare prin descoperire, prin apariția instrumentelor tehnice destinate predării, prin înmulțirea proiectelor de grup, a studiilor de caz și a activităților aplicative, prin evaluarea continuă și formativă concepută ca modalitate de feedback, precum și prin acceptarea învățării în ritm individual.

La temelia educației progresiste de la finele secolului al XX-lea se află teoriile constructiviste elaborate de Piaget și Vygotsky, metodele de învățare prin cercetare propuse de Bruner, principiile educației umaniste întemeiate pe concepțiile lui Rogers și Maslow, orientate spre dezvoltarea personală și afectivă a elevilor [136; 176], precum și noțiunea de „învățare problematizată” aparținând lui Paulo Freire [88].

În această etapă, modul de a preda fizica în mediul școlar s-a caracterizat prin rolul central acordat laboratoarelor de specialitate, care le ofereau elevilor prilejul de a experimenta și verifica noțiunile teoretice; prin apariția proiectelor individuale și colective; prin introducerea primelor simulări, programe informatice și resurse educaționale disponibile online; prin valorificarea constructivismului într-o învățare activă, cooperativă și contextualizată; prin asimilarea conceptului STEM, care îmbină fizica cu matematica, tehnologia și ingineria; prin feedback permanent și prin diversificarea procedeele de evaluare, între care portofoliile și prezentările; prin conturarea ideii de formare continuă a cadrelor didactice, menită să le asigure racordarea la noile metode pedagogice și tehnologii; precum și prin constituirea unor rețele profesionale destinate schimbului de bune practici.

Manualele școlare din perioada de sfârșit a secolului al XX-lea cuprind realizările fizicienilor de seamă, cum ar fi: teoria relativității restrânse și efectul fotoelectric ale lui Albert Einstein; modelul atomic a lui Niels Bohr; studiile privind radioactivitatea ale Mariei Curie; teoria particulelor elementare și reactorul nuclear de Enrico Fermi; radiația corpului negru de Max Planck.

Tabelul 1.4. Caracteristicile educației progresiste

Apariția educației progresiste (prima jumătate a secolului XX)	• Centrarea pe elev • Învățarea activă • Gândirea critică • Evaluarea formativă • Rezolvarea problemelor • Colaborarea în clasă.	Reprezentanți importanți John Dewey • Învățarea bazată pe experiență • Dezvoltarea abilităților de gândire critică. Maria Montessori • Autoghidarea învățării.	Predarea fizicii • Apariția laboratorului școlar de fizică • Manuale cu exerciții și probleme • Evaluarea cu întrebări teoretice și probleme practice • Accent pe înțelegerea conceptuală.
Avântul educației progresiste (a doua jumătate a secolului XX)	• Învățarea prin descoperire • Mijloacele tehnice de predare • Proiecte de grup • Evaluarea formativă (feedbackul) • Învățarea în ritm propriu.	Jean Piaget • Curriculum conform stadiilor de dezvoltare • Învățarea prin colaborare, lucrul în grup • Învățarea ludică. Lev Vygotsky • Învățarea prin colaborare • Profesorul ca facilitator • Importanța limbajului științific pentru dezvoltarea cognitivă.	Predarea fizicii • Lab. de fizică ca mediu de învățare • Simulările și soft-ul educațional • Conceptul STEM • Feedbackul continuu • Formarea continuă • Rețele profesionale p/u schimb de bune practici.

Educația constructivistă modernă se distinge printr-un ansamblu divers de sub-paradigme și strategii didactice, fiecare accentuând dimensiuni particulare ale învățării active și constructiviste. Printre aceste strategii se numără:

- Învățarea activă, cunoscută ca *Learning by Doing*, presupune implicarea elevilor în activități practice și experiențe autentice, precum proiectele hands-on și experimentele de laborator.
- Învățarea bazată pe înțelegere, cunoscută ca *Learning by Understanding*, presupune asimilarea aprofundată a noțiunilor prin dezbateri în clasă și prin examinarea amănunțită a conceptelor și a legăturilor dintre ele.

- Constructivismul social cunoscut ca *Social Constructivism*, presupune susținerea interacțiunii și cooperării dintre elevi și cadre didactice, cuprinzând activități de grup și instruirea reciprocă sau *Peer Instruction*.
- Învățarea contextualizată cunoscută ca *Contextualized Learning*, presupune dobândirea cunoștințelor în situații semnificative și autentice, cum ar fi stagiile de practică, simulările și analiza unor probleme reale.
- Ucenicia cognitivă cunoscută ca *Cognitive Apprenticeship*, presupune conlucrarea cu specialiști prin îndrumare și sprijin etapizat în soluționarea problemelor.
- Învățarea problematizată cunoscută ca *Problem-Based Learning*, presupune tratarea unor probleme complexe ce presupun gândire critică și corelarea cunoștințelor, între care studiile de caz și proiectele de cercetare.
- Învățarea prin descoperire cunoscută ca *Discovery Learning* presupune explorarea și experimentarea în vederea identificării conceptelor și a relațiilor dintre ele, inclusiv prin experimente științifice și investigații independente.
- Învățarea științelor prin metoda cercetării cunoscută ca *Inquiry-Based Science Education*, presupune cultivarea curiozității firești a elevilor prin investigație și găsirea propriilor răspunsuri, prin intermediul proiectelor de cercetare și al explorării întrebărilor deschise [147].
- Învățarea prin colaborare cunoscută ca *Collaborative Learning*, presupune conlucrarea elevilor prin munca în echipă și prin proiecte de grup.
- Învățarea reflexivă cunoscută ca *Reflective Learning*, presupune analiza pe care elevii o realizează asupra propriului proces de învățare și asupra experiențelor personale, cu ajutorul jurnalelor de reflecție, al autoevaluărilor și al discuțiilor reflexive.

Aceste strategii se bazează pe lucrările teoreticienilor care au influențat dezvoltarea și implementarea acestor metode educaționale. John Dewey promovează ideea că *învățarea* trebuie să fie activă și bazată pe experiențe concrete (Învățarea prin acțiune) și accentuează importanța reflecției în învățare (Învățarea reflexivă) [31]. Lev Vygotsky subliniază importanța interacțiunilor sociale și culturale (Constructivismul social) și învățarea prin colaborare [102]. Jean Piaget evidențiază valoarea descoperirii în învățare (Învățarea prin descoperire) [162]. Jerome Bruner consideră că învățarea se bazează pe înțelegerea profundă a conceptelor (Învățarea prin înțelegere) și implicarea activă în descoperirea acestora (Învățarea prin descoperire). Howard Gardner, prin teoria inteligențelor multiple, subliniază necesitatea diversificării modalităților de învățare (Învățarea prin înțelegere). Howard Barrows și Robyn Tamblyn au dezvoltat metodologia învățării problematizate pentru stimularea gândirii critice și a rezolvării de probleme. Joseph Schwab

promovează învățarea prin cercetare ca metodă esențială în educație. Morton Deutsch a contribuit la teoria cooperării și competiției, evidențiind beneficiile colaborării în învățare (Învățarea prin colaborare). Donald Schön susține importanța reflecției asupra practicii pentru dezvoltarea profesională și personală (Învățarea reflexivă) [183]. Allan Collins, John Seely Brown și Susan Newman au elaborat conceptul de ucenicie cognitivă, bazat pe ideea ghidării de către experți (Ucenicia cognitivă).

Un exemplu internațional de aplicare a acestor teorii este inițiativa „La main à la pâte” (cu mâinile în aluat) dezvoltată de fizicienii francezi Georges Charpak, Pierre Léna și Yves Quéré. Aceasta se bazează pe principii precum: a) învățarea prin cercetare – explorarea și descoperirea conceptelor științifice prin activități experimentale și proiecte hands-on; b) formarea continuă a profesorilor și furnizarea de resurse metodice; c) interdisciplinaritate prin integrarea științelor exacte și studiilor despre natură; d) rețele de colaborare între profesori, elevi și comunități educaționale.

Tabelul 1.5. Educația constructivistă

VI. Educația constructivistă (încep. sec. XXI)		
<i>Caracteristici de bază</i> • Integrarea tehnologiei în clasă • Predarea frontală • Teste standardizate • Curriculum fix • Evaluare tradițională	<i>Reprezentanți importanți</i> John Dewey (Learning by Doing, Inquiry-Based Learning) Lev Vygotsky (Collaborative Learning) Jean Piaget (Discovery Learning) J. Bruner, H. Gardner (Learning by Understanding) H. Barrows, R. Tamblyn (Problem-Based Learning)	<i>Predarea fizicii</i> • Învățarea activă bazată pe cercetare • Laboratoare virtuale • Platforme educaționale • Lucrul în echipe • Abordare interdisciplinară

Figura 1.1 ilustrează cum a evoluat predarea fizicii în interiorul paradigmelor educaționale. Fiecărei paradigme educaționale îi corespunde o epocă istorică, pornind din Antichitate (Educația Clasică) și ajungând până în secolul al XXI-lea (Educația Constructivistă). În plus, fiecare etapă se distinge printr-o modalitate proprie de predare a fizicii, precum observarea empirică, experimentarea creativă sau folosirea laboratorului virtual. Menționăm că fiecare etapă include trăsăturile etapelor anterioare. Prin urmare, educația constructivistă se definește printr-o îmbinare de elemente: observarea, raționamentul și experimentul în laboratorul școlar, însoțit de valorificarea resurselor și a instrumentelor digitale.

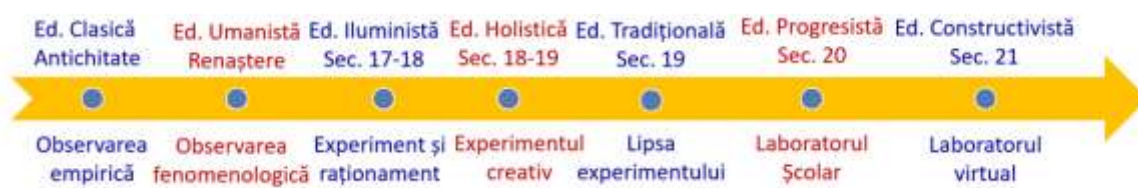


Fig. 1.1. Evoluția predării fizicii în cadrul paradigmelor educaționale.

Punând în lumină rolul semnificativ al evoluției paradigmelor educaționale pe fondul schimbărilor din plan social și științific, acest paragraf atrage atenția asupra unei tendințe tot mai consecvente a învățământului actual: orientarea către modele constructiviste, ce acordă prioritate implicării active în învățare, lucrului împreună și activităților cu caracter practic. Dincolo de faptul că înlesnesc pătrunderea în profunzime a conceptelor, astfel de modele cultivă și deprinderi de neînlocuit pentru secolul al XXI-lea, cum sunt raționamentul critic, spiritul creativ și priceperea de a soluționa situații de problemă.

Totodată, remarcăm impactul considerabil al unor teoreticieni ai educației, precum Dewey, Vygotsky și Piaget, care au sprijinit conturarea unor metode de predare centrate pe elev. Bunăoară, modificările de paradigmă în predarea fizicii oglindesc o trecere de la procedeele tradiționale către cele care stimulează explorarea și transpunerea cunoștințelor în contexte reale.

1.2. Constructivismul în didactica fizicii

1.2.1 Constructivismul ca bază teoretică pentru didactica modernă

După ce în paragraful precedent am analizat evoluția paradigmelor educaționale, este important să subliniem modul în care acest proces a influențat predarea modernă și a conturat abordările didactice actuale. Dacă, în trecut, educația era centrată pe transmiterea pasivă a cunoștințelor și pe memorare mecanică, pe măsură ce paradigmele educaționale au evoluat, astăzi s-a produs o schimbare fundamentală în modul în care este văzută învățarea. Acest proces de tranziție de la memorizare spre învățarea activă poate fi urmărit din Antichitate și Renaștere, prin Iluminism și până la dezvoltarea teoriilor moderne, cum ar fi constructivismul, care plasează elevul în centrul actului educațional, sau behaviorismul care pune accent pe mediul de învățare [135].

Astfel, evoluția paradigmelor educaționale descrisă în paragraful 1.1, ca tranziția de la educația tradițională la educația centrată pe elev, se reflectă direct în practica didactică modernă, în cadrul căreia metodele de învățare prin proiecte [9], învățarea exploratorie [22] sau învățarea prin descoperire [34] joacă un rol esențial în crearea unui mediu de învățare activ și colaborativ. În plus, prin astfel de metode precum învățarea prin înțelegere (Learning by Understanding) [57] sau învățarea prin asumare (Learning by Being) [43], elevii devin nu doar receptori pasivi ai

informației, ci și creatori activi ai propriilor cunoștințe, integrând obiectivele educaționale ale profesorului în propriul proces de gândire și dezvoltare.

De asemenea, tranziția de la o predare cu profesorul în rolul central, descrisă în paradigma educației tradiționale [83], la una bazată pe feedback constant și comunicare bidirecțională, prezentă în educația modernă, subliniază importanța metacogniției [102] și a reflecției critice asupra propriului proces de învățare. În trecut, elevul era văzut ca un receptor al informațiilor transmise de profesor, însă în cadrul paradigmelor moderne, elevii sunt stimulați să își dezvolte capacitatea de autoreglare [113] și să devină mai conștienți de propriile strategii de învățare.

Această schimbare de perspectivă este susținută de teoria predării și învățării vizibile (Visible Teaching and Learning) [102], care pune accent pe importanța feedback-ului și pe implicarea directă a elevilor în autoevaluarea propriului progres. Rezultatele cercetărilor anterioare [126] demonstrează că implicarea elevilor în propria lor dezvoltare educațională, prin metode de tipul Învățării bazată pe proiecte [204] sau Învățarea exploratorie [211], crește semnificativ performanțele academice, dar și motivația intrinsecă.

Mai jos sunt câteva definiții ale constructivismului. Mai întâi amintim că teoria constructivismului este una educațională și epistemologică care pune accent pe faptul că învățarea este un proces activ, în care elevii își construiesc cunoștințele prin experiențe personale, interacțiune și reflecție.

Conform Dicționarului praxiologic de pedagogie [68], constructivismul presupune patru factori de bază: *i*) reflecție personală a elevului, *ii*) gândire critică și analitică, *iii*) metacogniție și *iv*) căutarea variantelor de soluționare a situațiilor de problemă. Dar, în efortul său cognitiv, elevul se bazează pe eșafodajul din partea profesorului, adică el trebuie îndrumat, orientat și susținut prin feedback permanent.

Un exemplu de abordare constructivistă este învățarea experiențială [124], care conform lui V. Bocancea [24] „intervine atunci când elevul se implică într-o activitate, o revizuieste în mod critic, trage concluzii utile și aplică rezultatele într-o situație practică. Astfel elevii devin conștienți de regulile ce guvernează fizica, sunt deschiși spre comunicare și colaborare. O astfel de abordare permite elevilor să-și asume responsabilitatea învățării.”

În opinia cercetătorilor Botgros, Bocancea și Franțuzan [30], constructivismul vizează activitățile educaționale centrate pe elev și este una din cele cinci componente formative fundamentale ale cunoașterii științifice, de rând cu abordarea sistemică, interactivitatea, metacogniția și evaluarea autentică.

Conform Botgros et al., [31] învățarea constructivistă se bazează pe trei elemente-cheie: *i*) cercetarea; *ii*) combinarea și recombinația; *iii*) atribuirea de către elev a sensului și semnificației

informației cu care el operează. De asemenea, în constructivism pe primul plan se pun comunicarea și atmosfera de empatie din clasă, care reprezintă o precondiție pentru efortul de învățare al fiecărui elev.

În educația constructivistă, conform cercetătorilor Gheorghe E. C. și Silistraru N. [93], „elevul învață și se învață”, iar constructivismul este orientat spre crearea „unui mediu de învățare relevant și realist”.

Conform cercetătoarei Poștan L. [169], așa cum modelul constructivist al învățării vede „învățarea ca descoperire de noi adevăruri”, un demers didactic constructivist este conex cu învățarea prin metoda cercetării științifice cu elementele ei constitutive: *i)* crearea unei situații de problemă; *ii)* formularea problemei; *iii)* actualizarea cunoștințelor anterioare; *iv)* formularea și verificarea ipotezei.

Cercetătoarele Hadîrcă M. și Țîbuleac A. [98] plasează dezvoltarea viziunii constructiviste asupra cunoașterii printre cele mai importante paradigme educaționale moderne, de rând cu caracterul integrativ și al cunoașterii, transdisciplinaritatea și noi perspective asupra evaluării calității în educație.

Psihologul Virginia Celac [51] afirmă că constructivismul stă la baza paradigmei postmoderne a educației, el se axează pe construirea cunoașterii reieșind din: *i)* resursele interne, *ii)* inițiativa proprie și *iii)* activismul individului în procesul său de învățare, iar principiile de bază ale constructivismului sunt cele ale a) experiențialității (formarea cunoașterii prin practică), b) constructivității (accentul pe strategii cognitive atât individuale cât și prin colaborare), c) perspectivei contextuale (învățarea se produce într-un context cu caracter multidimensional și sistemic).

Profesorul Guțu Vl. [96] interpretează constructivismul ca pe un caz particular al educației centrate pe elev, sau antropocentrice, unde elevul este subiect al învățării, iar această subiectivitate se manifestă în două direcții: adaptarea elevului la cerințele profesorului dar și creativitatea ca bază pentru dezvoltarea competențelor proprii.

Profesorul Cucoș C. [66] afirmă că abordarea constructivistă se focalizează pe interesele cognitive reale ale elevilor și identifică acțiunea și cunoașterea elevului ca pe un reper constructivist de bază al procesului educațional.

De asemenea, conform cercetătoarei Momanu Mariana [145], într-un proces didactic constructivist profesorul are ca reper nu rezultatele și posibilitățile actuale ale elevului, ci cele potențiale, din viitorul imediat, în conformitate cu principiul zonei dezvoltării proxime a lui Vygotsky.

În aceeași perspectivă constructivistă, cercetătorul ucrainean Davidenko A. A. [213], autor al monografiei de referință consacrate dezvoltării capacităților creative ale elevilor în procesul de învățare a fizicii, arată că elevul nu poate construi o înțelegere conceptuală autentică rămânând un simplu receptor al cunoașterii transmise: cunoașterea fizică se formează doar atunci când elevul este pus în situația de a acționa ca subiect constructor, generând el însuși ipoteze, soluții și explicații, prin efort cognitiv propriu.

Tipuri de constructivism

Constructivismul este împărțit în mai multe tipuri, fiecare cu particularități distincte în abordarea procesului de învățare. Constructivismul cognitiv este asociat cu Jean Piaget, acest tip de constructivism se concentrează pe construirea individuală a cunoștințelor prin procese mentale precum asimilarea și acomodarea. Elevii învață prin explorare și descoperire activă, dezvoltând o înțelegere bazată pe experiențele proprii [33].

Constructivismul social, propus de Lev Vygotsky, subliniază rolul interacțiunii sociale și al contextului cultural. Procesul de învățare este facilitat prin colaborare, dialog și mentorat, iar conceptul de „zonă proximei dezvoltări” este central [71].

Constructivismul radical, dezvoltat de Ernst von Glasersfeld, susține că realitatea este subiectivă și că fiecare individ își construiește propria cunoaștere, în funcție de experiențele sale unice. Conform acestei perspective, nu există o realitate absolută, ci doar interpretări individuale [197].

Constructivismul pragmatic, inspirat de John Dewey, promovează învățarea prin aplicarea cunoștințelor în situații practice și rezolvarea problemelor din viața reală. Elevii învață prin experiență și explorare activă [115].

Constructivismul cultural explorează influența normelor și practicilor culturale asupra procesului de învățare. Limbajul și interacțiunile sociale sunt considerate instrumente esențiale în construirea cunoștințelor [149].

Constructivismul tehnologic pune accent pe învățarea prin creare și se referă la integrarea tehnologiilor moderne în procesul educațional. Elevii își construiesc cunoștințele prin utilizarea simulărilor, laboratoarelor virtuale și resurselor multimedia [148; 163].

Constructivismul emoțional evidențiază rolul emoțiilor și motivației în procesul de învățare. O relație empatică între elev și profesor contribuie semnificativ la dezvoltarea cunoștințelor [156; 198]. Caracteristicile de bază și reprezentanții importanți ai tipurilor principale de constructivism sunt date în Tabelul 1.6.

Tabelul 1.6. Tipuri de constructivism

Tipuri de constructivism	Caracteristici de bază	Reprezentanți importanți
Constructivismul cognitiv	Procesul de învățare ca o construcție activă a cunoștințelor; accent pe etapele dezvoltării cognitive.	Jean Piaget
Constructivismul social	Învățarea are loc prin interacțiunea socială și culturală; zona proximei dezvoltări (ZPD).	Lev Vygotsky
Constructivismul radical	Cunoașterea este o construcție subiectivă; nu există un adevăr absolut, doar perspective personale.	Ernst von Glasersfeld
Constructivismul pragmatic	Învățarea prin experiență și experimentare practică; rol activ în rezolvarea problemelor reale.	John Dewey
Constructivismul cultural	Învățarea este influențată de mediul cultural și de limbaj; accent pe simboluri și semnificații.	Jerome Bruner
Constructivismul tehnologic	Utilizarea tehnologiei pentru a facilita învățarea activă și creativă; învățarea prin creare.	Seymour Papert
Constructivismul emoțional	Rolul emoțiilor, motivației și inteligenței emoționale în procesul de învățare.	John D. Mayer

Astfel, constructivismul, născut din ideile lui Piaget, Vygotsky și Bruner, a creat o fundație solidă pentru dezvoltarea unor noi metode pedagogice care să îmbine implicarea activă a elevului cu descoperirea și înțelegerea personală a cunoștințelor. Aceasta a marcat o schimbare de paradigmă, îndepărtându-se de metodele tradiționale bazate pe predarea frontală și încurajând participarea directă a elevilor în procesul de învățare. Această evoluție, discutată mai sus, nu este doar teoretică, ci își găsește o aplicabilitate concretă în abordările didactice moderne.

În cadrul paradigmei educaționale contemporane, abordările constructiviste au câștigat un loc central datorită capacității lor de a răspunde provocărilor actuale ale sistemului educațional, cum ar fi scăderea motivației și lipsa de interes din partea elevilor. Aceste provocări sunt amplificate de influențele tehnologice și sociale care au schimbat atât așteptările elevilor, cât și ale profesorilor față de actul didactic. În acest context, abordările constructiviste moderne devin esențiale, ele reprezentând soluția pentru creșterea autonomiei elevilor și implicarea lor activă în propriul proces de învățare.

Astfel, principiile constructiviste descrise anterior, centrate pe implicarea activă a elevilor și pe autonomia acestora, își găsesc o aplicabilitate concretă în procesul didactic din cadrul lecțiilor de fizică. Această disciplină oferă un cadru ideal pentru implementarea strategiilor de învățare activă, exploratorie și bazată pe proiecte, facilitând dezvoltarea gândirii critice și a abilităților metacognitive ale elevilor. Prin integrarea acestor abordări, profesorii de fizică pot transforma învățarea dintr-un proces pasiv într-unul dinamic, conectat la realitatea cotidiană și provocările

contemporane. În continuare, vom analiza cum pot fi utilizate aceste paradigme în predarea fizicii, explorând legătura dintre autonomia elevilor, eficiența feedback-ului și succesul academic.

1.2.2 Aplicarea constructivismului în lecția de fizică

Una dintre cele mai stringente provocări cu care se confruntă sistemul educațional contemporan este motivația scăzută și lipsa de interes a elevilor pentru procesul de învățare [84]. Soluțiile pentru această problemă sunt oferite de diverse abordări constructiviste, precum învățarea activă, învățarea prin înțelegere, învățarea exploratorie sau învățarea prin metoda cercetării, învățarea bazată pe proiecte și învățarea problematizată. Aceste abordări didactice se deosebesc între ele prin gradul variabil de autonomie pe care îl oferă elevilor în procesul de învățare. În opinia cercetătorului australian John Hattie cu cât elevii beneficiază de o mai mare autonomie, cu atât cresc șansele lor de a obține rezultate academice remarcabile [101]. Independența în procesul de învățare are, însă, o limită superioară, aceasta fiind atinsă atunci când elevii își asumă în mod activ obiectivele educaționale propuse de profesor, transformându-le în propriile lor obiective de învățare [40]. Această abordare este pe deplin aliniată cu principiile fundamentale ale teoriei predării și învățării vizibile [102]. Pentru a realiza aceste obiective la nivel de clasă, este esențial un feedback continuu și bidirecțional, care facilitează o comunicare eficientă și contribuie la incluziunea tuturor elevilor în procesul educațional prin dezvoltarea metacogniției [181]. În acest context, o strategie didactică modernă ar trebui să se bazeze pe trei piloni esențiali: *i*) efortul cognitiv al elevului; *ii*) comunicarea eficientă între elevi și profesori; precum și *iii*) dezvoltarea metacogniției [140]. În continuare, vom examina trei aspecte esențiale ale abordărilor didactice constructiviste: 1) evoluția paradigmelor educaționale de la învățarea activă la asumarea învățării de către elevi, 2) rolul efortului cognitiv depus de elevi și dezvoltarea metacogniției, și 3) importanța legăturii inverse în cadrul procesului de predare-învățare.

1) Evoluția sau scara paradigmelor educaționale

Scara propusă are caracter interpretativ și utilizează mărimile efectului sintetizate de Hattie ca repere comparative; ea nu reprezintă o ierarhie universală a eficienței paradigmelor educaționale, întrucât mărimea efectului depinde de contextul și designul cercetărilor analizate.

Prima treaptă pe scara paradigmelor educaționale este Învățarea activă. Acest concept implică implicarea directă a elevilor în activități care stimulează învățarea prin acțiune și experimentare. Un exemplu relevant în acest context este educația ludică, care utilizează jocul ca instrument pedagogic. Conform teoriei predării și învățării vizibile, educația ludică are o mărime a efectului de $d \approx 0,35$ asupra performanței academice [102] (vezi Anexa 1). Pentru a înțelege semnificația acestei valori, este util să o raportăm la pragul de eficiență identificat de Hattie ($d = 0,40$). În experimentul desfășurat pe parcursul a doi ani, predarea convențională realizată de un

profesor cu experiență a generat o mărime a efectului similară ($d \approx 0,35$). Aceasta sugerează că, deși ludicul poate crea o iluzie de activitate în clasă, nu conduce automat la învățare profundă.

A doua treaptă a paradigmatelor educaționale este Învățarea prin înțelegere. Un exemplu notabil al acestei abordări este învățarea reflexivă a științelor, sau învățarea prin cercetare. Potrivit teoriei Învățării și predării vizibile (IPV), această metodă are un impact mult mai semnificativ asupra succesului academic, cu o mărime a efectului de până la 0,80 [38; 102]. Creșterea succesului academic este strâns legată de complexitatea crescută a comunicării în clasă, deoarece o comunicare eficientă între elevi și profesori favorizează implicarea activă a elevilor în procesul de învățare.

A treia și cea mai avansată treaptă pe scara paradigmatelor educaționale este Învățarea prin asumarea obiectivelor învățării (IAOI). Această etapă se caracterizează prin faptul că elevii nu doar înțeleg obiectivele lecției, dar le și integrează ca obiective cognitive proprii [37]. Acest nivel de asumare este esențial pentru dezvoltarea competențelor de învățare pe tot parcursul vieții [103]. Diferitele metode didactice aplicate în cadrul IAOI au un impact variabil asupra succesului academic, variind de la 0,80 în cazul capacității elevilor de a efectua cercetări independente, până la 1,30 în ceea ce privește abilitatea de a recunoaște similarități și de a lega informațiile noi de cunoștințele anterioare. Rezultatele IPV demonstrează că aplicarea simultană sau integrarea mai multor metode de învățare din cadrul IAOI poate genera un efect sinergic, amplificând astfel impactul cumulativ asupra performanțelor academice.

2) *Rolul efortului cognitiv în cadrul strategiilor didactice*

Efortul cognitiv în învățarea fizicii este esențial pentru dezvoltarea unei înțelegeri științifice solide a lumii. Prin efort cognitiv are loc transformarea percepțiilor naive și non-științifice ale elevilor în concepte riguroase, bazate pe dovezi științifice. Cu toate acestea, cercetările efectuate pe diverse grupuri de profesori relevă că acest obiectiv nu este atins în cazul a aproximativ 30% dintre profesorii de fizică. Unul dintre motivele acestui eșec poate fi identificat în neglijarea sau minimalizarea efortului cognitiv necesar în procesul de învățare. Un principiu didactic adesea ignorat este acela al învățării prin efort intelectual activ, susținut de elevi într-un mediu de empatie și sprijin în cadrul clasei, reprezintă fundamentul pentru o înțelegere conceptuală profundă și științifică a fenomenelor naturale.

În acest sens, ar trebui să ne concentrăm mai degrabă pe o educație centrată pe efortul cognitiv al elevului, decât pe o educație generică centrată pe elev, care riscă să transforme elevul într-un participant pasiv în procesul educațional. Din perspectiva evaluării, abordările constructiviste nu întotdeauna se reflectă în rezultate superioare la testele standardizate, însă elevii

educați prin metode constructiviste se descurcă mai bine atunci când li se cere să explice un fenomen sau să aplice cunoștințele în contexte noi [121].

Referitor la problema motivației scăzute și a plictiselii resimțite de elevi în clasă, se poate observa că programele de instruire care utilizează abordări constructiviste, precum implicare, explorare, explicare, elaborare și evaluare, au un efect pozitiv asupra motivației elevilor [100; 120]. De exemplu, conceptul constructivist al IAOI nu se rezumă doar la asumarea actului de învățare de către elevi; acesta include și o conștientizare profundă a propriului mod de gândire și a strategiilor de învățare pe care le aplică. Această abordare este mult mai cuprinzătoare decât simpla replicare a activităților de învățare transmise de profesor. În cadrul IAOI, metacogniția joacă un rol crucial, deoarece elevii sunt capabili să aleagă strategii de învățare adecvate (de exemplu, prin cercetare), să estimeze posibilele rezultate ale învățării lor și să analizeze aceste rezultate [140]. Astfel, această conștientizare și capacitate de autoreglare academică le oferă elevilor instrumentele necesare pentru a deveni autonomi și eficienți în învățarea proprie.

3) *Legătura inversă elev – profesor – elev*

În cadrul oricărei abordări educaționale constructiviste, comunicarea joacă un rol esențial [198]. Astfel, este important ca elevii să înțeleagă clar obiectivele didactice, iar profesorul să fie în permanență conștient de reacțiile elevilor la metodele de predare aplicate. Aceste principii formează fundamentul teoriei predării și învățării vizibile [16]. Pentru a ilustra impactul unor metode didactice constructiviste, utilizate în cadrul conceptului IAOI, prezentăm mai jos factorii de impact asociați acestor practici. Învățarea problematizată are mărimea efectului de 0,26, predarea centrată pe elev înregistrează 0,36, evaluarea formativă ajunge la 0,48, iar instruirea mutuală atinge 0,74. Dezbaterile ghidate de profesor au un impact de 0,82, în timp ce cunoașterea instantanee a modului în care elevii au perceput lecția atinge un impresionant 1,29. În final, factorul de impact cel mai ridicat, de 1,62, este asociat cunoașterii profunde de către profesor a potențialului și aptitudinilor elevilor săi.

În figura 1.2 în conformitate cu rezultatele teoriei IPV, este prezentată mărimea efectului pentru câteva strategii de predare și de învățare.

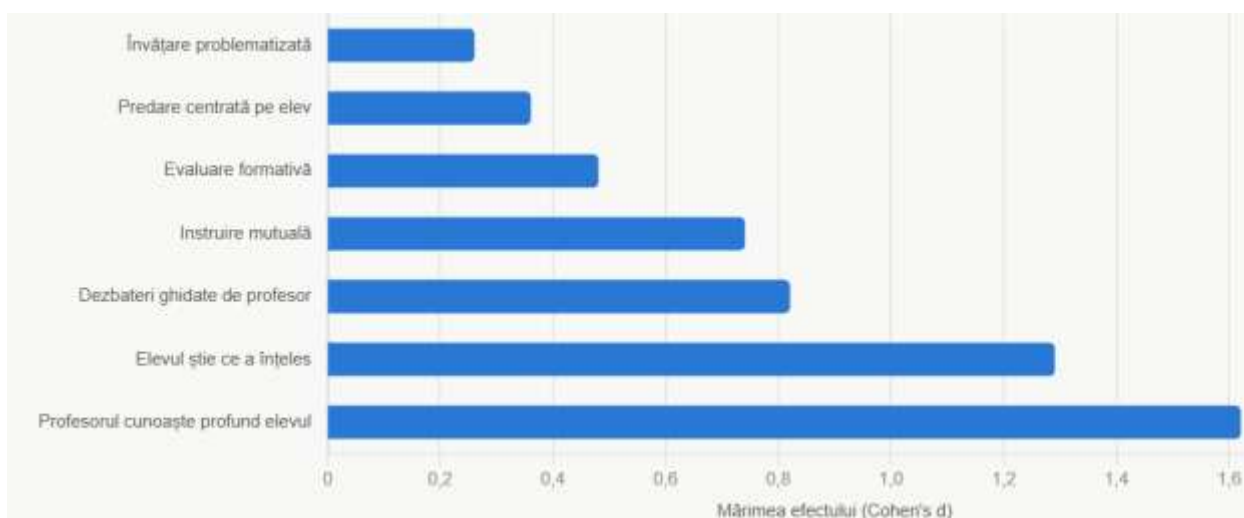


Fig. 1.2. Mărimea efectului a strategiilor de predare și învățare conform teoriei învățării și predării vizibile.

Aceste date evidențiază clar că succesul academic al elevilor crește proporțional cu nivelul de feedback primit. Un exemplu în acest sens este faptul că rezultatul modest al învățării problematizate (sub 0,40, comparabil cu predarea convențională) se datorează aplicării sporadice și superficiale a acestei metode. Aceste cifre sunt confirmate de studiile PISA, care arată o diferență semnificativă între țări. De exemplu, în Republica Moldova, doar un elev din trei sau patru clase demonstrează o înțelegere științifică profundă, în timp ce în Coreea de Sud, patru elevi dintr-o clasă ating acest nivel [151] (vezi Anexa 2). Un profesor trebuie să se bazeze pe feedback-ul primit pentru a înțelege cât de bine au înțeles și reținut elevii cunoștințele predate. Studiile sugerează că înțelegerea obținută în rezultatul interacțiunii elev-profesor este de trei ori mai valoroasă decât simpla memorare [121].

S-a demonstrat că, în vederea dobândirii unei înțelegeri științifice a noțiunilor și fenomenelor din natură, tehnică și societate, procesul didactic trebuie să se sprijine pe efortul cognitiv și intelectual al elevului, iar motivația pentru acest efort trebuie să capete un caracter intrinsec.

Alături de angajarea cognitivă, modelul constructivist IAOI valorifică și metacogniția: elevii nu se limitează la a pricepe ceea ce fac, ci ajung să conștientizeze și felul propriu de a raționa pe parcursul acelei activități, un raționament care nu reproduce demersul cadrului didactic.

S-a arătat că modelul IAOI transformă tiparul comunicării dintre elev și profesor, care se preschimbă într-un canal cu dublu sens, activ fără întrerupere. Această constatare este în acord cu teoria IPV, conform căreia anume feedbackul asigură congruența dintre obiectivele didactice și cele cognitive. Tocmai de aceea, strategiile didactice ce presupun un grad mai înalt de feedback dețin un factor de impact mai mare asupra succesului academic al elevilor. Cele mai valoroase

strategii didactice reclamă însă măiestria profesorului de a coordona dezbaterile din cadrul proiectelor de cercetare științifică exploratorie a elevilor.

1.3. **Organizarea lecției de fizică în abordare constructivistă**

1.3.1 *Înțelegerea conceptuală ca obiectiv central*

Pentru a stimula motivația elevilor și a cultiva un interes autentic pentru fizică, o condiție necesară o reprezintă înțelegerea conceptuală. Este esențial să recunoaștem că înțelegerea nu este rezultatul unei transmiteri pasive a cunoștințelor, ci un produs al unui proces cognitiv activ, susținut de eforturile individuale de învățare. Acest raționament situează discuția în cadrul paradigmei constructiviste. Astfel, aici vom analiza principiile care stau la baza organizării predării constructiviste a fizicii.

În primul rând vom evidenția rolul constructivismului în promovarea înțelegerii conceptuale la lecția de fizică și vom identifica factorii-cheie care susțin acest rol: efortul cognitiv al elevului, relevanța cunoștințelor anterioare și metacogniția. Vom sublinia că, deși constructivismul se regăsește în diferite strategii didactice, cum ar fi învățarea bazată pe probleme, învățarea prin cercetare sau învățarea bazată pe proiecte, două componente esențiale rămân constante: activitățile de grup ale elevilor și rolul profesorului ca facilitator, ghidând elevii în procesul lor de explorare.

În al doilea rând vom analiza din punct de vedere al constructivismului fazele modelului didactic 5E (vezi Anexa 3). De exemplu, vom arăta că feedback-ul este prezent în fiecare fază a lecției, fie că este vorba despre angajament, explorare sau evaluare. De asemenea, motivația intrinsecă este susținută de mai multe tehnici didactice aplicate în fiecare fază a lecției 5E.

În al treilea rând, vom explora mecanismele prin care constructivismul contribuie la dezvoltarea celor trei componente ale cunoașterii: cunoștințele teoretice, cunoștințele practice (procedurale) și cunoașterea axiologică sau atitudinea. De exemplu, tehnicile destinate să cultive înțelegerea conceptuală, care depășește simpla dobândire a cunoștințelor de conținut, se bazează pe utilizarea întrebărilor deschise. Formarea cunoștințelor procedurale sau a abilităților se bazează pe analiza independentă efectuată de elevi a scenariilor din viața reală sau a situațiilor de problemă. Formarea unei atitudini adecvate este susținută de încurajarea curiozității, oferirea de feedback pozitiv și aplicarea tehnicilor de eșafodaj (*Scaffolding*).

Predarea științelor, în special a fizicii, se confruntă la nivel internațional cu o tendință îngrijorătoare de scădere a interesului elevilor. Aceasta se reflectă în numărul tot mai redus de absolvenți de liceu care aleg să susțină fizica la examenul de bacalaureat și, ulterior, prin lipsa lor de interes pentru a urma specializări în fizică sau domenii conexe la nivel universitar [187]. Interesul și motivația scăzute de a studia fizica pot fi atribuite unei înțelegeri limitate a termenilor

fundamentali, conceptelor și legilor. Elevii au adesea dificultăți în a explica fenomenele naturale sau în a aplica cunoștințele lor pentru a înțelege funcționarea mecanismelor, mașinilor și dispozitivelor. Ulterior, înțelegerea defectuoasă sau absența totală a înțelegerii se transformă în lipsă de interes: ceea ce nu înțelegi nici nu îți place. Subliniem că didactica fizicii întotdeauna a subliniat importanța dezvoltării la elevi a viziunii științifice despre lume, ceea ce se aliniază cu unul dintre principiile didactice fundamentale, promovarea unei mentalități științifice sau caracterul științific al predării.

Soluția pentru atingerea înțelegerii conceptuale se află în constructivism [43]. Deși principiile constructivismului sunt larg recunoscute, aplicarea lor practică rămâne limitată [11; 127]. Rigoarea pe care profesorii de fizică o aplică adesea în clasă poate împiedica tranziția de la metodele tradiționale de învățământ frontal, unde elevul este un receptor pasiv al învățăturii, către strategii constructiviste mai centrate pe elev. Într-o abordare constructivistă, elevul devine principalul protagonist al procesului de învățare. Oricare abordare constructivistă mută accentul de la predare la învățare, cu un obiectiv clar: atingerea înțelegerii conceptuale [123]. În acest fel, prin definirea precisă a caracteristicilor înțelegerii conceptuale, putem planifica și implementa mai eficient o abordare didactică constructivistă.

Să conturăm caracteristicile fundamentale ale înțelegerii conceptuale în cadrul oricărei abordări didactice constructiviste.

În primul rând, înțelegerea conceptuală este un produs al efortului cognitiv al elevului. Această idee se află în centrul constructivismului și, atunci când este aplicată constant în clasă, alimentează interesul elevilor pentru învățarea fizicii și motivația lor intrinsecă.

În al doilea rând, înțelegerea conceptuală este fundamentată în concepțiile, ideile și reprezentările mentale preexistente ale elevului. Când elevii intră într-o lecție, ei aduc cu ei un set de cunoștințe și credințe anterioare, adesea necunoscute profesorului. Concepțiile corecte din punct de vedere științific pot fi cultivate doar prin efortul cognitiv al elevului și prin comunicarea activă în clasă.

În al treilea rând, înțelegerea conceptuală este strâns legată de metacogniție. Abilitățile metacognitive slabe, atunci când elevii au dificultăți în a înțelege cum învață, reprezintă o provocare semnificativă pentru dezvoltarea înțelegerii conceptuale. Este important de menționat că, în ceea ce privește înțelegerea conceptuală, profesorul nu poate stabili așteptări uniforme pentru toți elevii. Aproape o treime dintre elevi pot înțelege temeinic conceptele de bază, o altă treime poate înțelege semnificația fizică a legilor științifice, iar restul poate atinge o înțelegere conceptuală completă, care le va permite să aplice cunoștințele în scenarii complexe noi.

Deși profesorii de fizică sunt familiarizați cu abordările fundamentale constructiviste, cum ar fi învățarea bazată pe proiecte, învățarea bazată pe probleme, învățarea prin cercetare și învățarea colaborativă, ei întâmpină adesea dificultăți în a ghida toți elevii către înțelegerea conceptuală. Problema principală constă în predominarea metodelor tradiționale de predare frontală în comparație cu metodele constructiviste moderne. Constructivismul este aplicat doar sporadic, mai mult în cadrul inițiativelor de cercetare pedagogică [13]. În ciuda proclamării frecvente a învățării centrate pe elevi, aceasta rămâne adesea doar un deziderat care depinde de efortul profesorului, elevii având adesea un rol pasiv în clasă [94]. Aici vom arăta că orice lecție convențională poate fi transformată într-una constructivistă prin încorporarea a cel puțin două elemente: i) ghidarea de către profesor a activităților de cercetare ale elevilor, desfășurate în grupuri, și ii) cultivarea abilității de a aplica cunoștințele recent dobândite.

1.3.2 Structura lecției constructiviste (model 5E)

Vom începe cu aspectele deja cunoscute de profesori încă din formarea lor inițială, respectiv modelul 5E: implicare, explorare, explicare, elaborare și evaluare [91]. Fiecare dintre aceste cinci faze este în mod inerent constructivistă. Pentru ca faza de implicare să capete un caracter constructivist autentic, aceasta trebuie concepută ca un moment de activare cognitivă și motivațională, care să pregătească elevii pentru demersul investigativ ulterior. În acest sens, este esențială crearea unui climat deschis și empatic, favorabil întrebărilor și dialogului, în care elevii se simt încurajați să își exprime ideile. Curiozitatea naturală este stimulată prin formularea de întrebări deschise și provocatoare, care invită la explorare și reflecție [180]. Totodată, implicarea este susținută prin valorificarea cunoștințelor și experiențelor anterioare ale elevilor, precum și prin ancorarea în situații concrete și relevante din viața reală. Procesul este consolidat prin feedback pozitiv și deschis, care validează contribuțiile elevilor și creează condițiile necesare pentru implicarea activă în învățare, indiferent de corectitudinea inițială a răspunsurilor [72].

Pe baza rezultatelor noastre, [49], organizarea constructivistă a fazei de explorare presupune un set de cerințe didactice care vizează activarea cognitivă a elevilor și implicarea lor autentică în procesul de învățare. În acest sens, explorarea se bazează pe construirea activă a cunoștințelor prin colaborare în grup, stimularea gândirii critice prin întrebări deschise și provocatoare, precum și testarea ideilor proprii prin activități practice și independente. Un rol esențial îl are reflecția asupra experiențelor de învățare, realizată prin verbalizarea și împărtășirea observațiilor. Procesul este susținut prin ghidajul profesorului, orientat spre facilitarea explorării și oferirea unui feedback constructiv. În același timp, evaluarea este centrată pe procesul de gândire și pe înțelegere, contribuind la dezvoltarea metacogniției prin stimularea autoevaluării și a autocorectării.

Faza de explicare pune accent pe consolidarea construcției active a cunoștințelor și pe dezvoltarea gândirii critice, printr-un demers didactic orientat spre analiză, interpretare și clarificare conceptuală. În acest cadru, elevii sunt implicați în examinarea informațiilor din perspective diferite, în evaluarea și sintetizarea acestora, precum și în utilizarea diversificată a resurselor pentru fundamentarea propriilor explicații. Procesul didactic presupune trecerea de la transmiterea pasivă a conținuturilor la facilitarea descoperirii și înțelegerii acestora, prin participarea activă la discuții de grup și de clasă. În același timp, explicarea este susținută prin analiza unor situații problemă, care contribuie la clarificarea și aprofundarea înțelegerii conceptuale.

Pentru a conferi fazei de explorare un caracter autentic constructivist, demersul didactic trebuie organizat astfel încât elevii să fie implicați în activități de tip investigativ, apropiate de cercetarea științifică. În acest sens, explorarea este structurată sub forma unor proiecte de cercetare, în cadrul cărora elevii testează concepte teoretice prin investigații independente, desfășurate sub monitorizarea și ghidajul profesorului. Un rol esențial îl au interacțiunile din cadrul muncii de grup, deoarece calitatea și frecvența schimburilor de idei contribuie direct la eficiența învățării [175]. Procesul este susținut prin feedback personalizat și orientare continuă, oferite fiecărui elev în funcție de progresul său. Totodată, elevii sunt încurajați să abordeze sarcinile din perspective diferite, fiecare grup dezvoltând propriul demers investigativ, cu accent pe dimensiunea practică a activităților și pe aplicarea concretă a cunoștințelor.

Într-o lecție constructivistă, faza de evaluare depășește funcția de verificare a cunoștințelor, devenind un instrument esențial pentru formarea și consolidarea unei înțelegeri conceptuale profunde. Evaluarea este proiectată astfel încât să susțină metacogniția, prin implicarea elevilor în procese de autoevaluare a propriilor înțelegeri și strategii de învățare. În același timp, aceasta valorifică interacțiunea dintre elevi, prin evaluare în perechi, contribuind la dezvoltarea gândirii critice și a capacității de argumentare. Monitorizarea progresului individual și a autoreglării este realizată prin instrumente precum portofoliile, care reflectă evoluția învățării. Evaluarea formativă ocupă un loc central, oferind feedback orientat spre procesul de gândire și dezvoltarea abilităților. De asemenea, sunt vizate capacitatea de rezolvare a problemelor complexe și transferul cunoștințelor în contexte noi, ca indicatori ai unei înțelegeri conceptuale autentice.

Caracteristicile menționate mai sus ale fiecărei faze ale modelului 5E sunt prezentate în Tabelul 1.7.

Tabelul 1.7. Caracteristicile principale ale fazelor modelului 5E

Fazele modelului 5E				
Implicare	Explorare	Explicare	Elaborare	Evaluare
Atmosferă empatică	Lucru în grup	Perspective diferite	Proiect de cercetare	Autoevaluare
Încurajarea curiozității	Întrebări deschise	Analiza informațiilor disponibile	Cercetare independentă	Lucru în perechi
Întrebări provocatoare	Activități practice și independente	Resurse multiple	Discuții colaborative	Portofolii
Activarea cunoștințelor anterioare	Reflecție colectivă	Facilitarea descoperirii	Feedback personalizat	Evaluare formativă
Situații din viața reală	Împărtășirea ideilor	Discuții în grup și clasă	Ghidare	Abilitatea de a rezolva probleme
Exemple concrete	Explorare ghidată	Înțelegere conceptuală	Un grup – un proiect	Înțelegere conceptuală
Feedback pozitiv și deschis	Evaluarea înțelegerii	Explicații diferite	Proiecte legate de viața reală	Aplicarea cunoștințelor

Așa cum reiese din Tabelul 1.7, feedback-ul este încorporat în fiecare dintre cele cinci faze ale lecției. Alte trăsături comune ale tuturor fazelor sunt experimentul sau examinarea situațiilor din viața reală și discuțiile la nivel de grup și clasă. Experimentele facilitează dezvoltarea abilităților de cercetare, iar discuțiile ajută la cultivarea unui vocabular științific activ.

Așa cum un tabel nu poate cuprinde întreaga pedagogie constructivistă, introducem două componente suplimentare strâns legate între ele: asumarea de către elevi a obiectivelor cognitive ale lecției și formarea motivației intrinseci [24]. Merită subliniat că acest model de lecție constructivistă conține deja acele elemente care promovează motivația intrinsecă, cum ar fi: cunoștințele și concepțiile anterioare, participarea activă la activitățile de cercetare, gândirea critică și schimbarea de perspectivă, interacțiunea și colaborarea, metacogniția, auto-reglarea învățării, toate contribuind la construirea înțelegerii conceptuale.

Să analizăm cum elevii își pot construi cunoștințele lor pe exemplul capitolului „Lucrul mecanic, puterea și energia mecanică” din cursul de fizică de clasa a VII-a (vezi Anexa 4). Subliniem că vom pune accentul pe dobândirea cunoștințelor de către elevi, nu pe transferul de cunoștințe de la profesor la elevi, astfel, vom rămâne în cadrul paradigmei constructiviste. Vom ține cont că cunoștințele sunt structurate în: înțelegere conceptuală (care este mai profundă decât cunoștințele de conținut), cunoștințe procedurale și atitudine. Desigur, înțelegerea conceptuală nu vine separat de cunoștințele procedurale. Totuși, pentru fiecare componentă a cunoștințelor, vom identifica exemple concrete de tehnici didactice prin care acestea pot fi dezvoltate. Astfel,

identificăm procedurile de bază pentru obținerea înțelegerii conceptuale a lucrului mecanic și punem accent pe următoarele momente de bază: întrebări deschise, activarea cunoștințelor anterioare, ghidarea discuțiilor colective, evaluarea înțelegerii.

- Exemple de întrebări deschise: „Cum credeți, ce mărime fizică că ar trebui să măsurăm pentru a vedea cât lucru se depune când mutăm un obiect?”, „De ce este mai greu să deplasezi un obiect greu decât unul ușor?”
- Activarea cunoștințelor anterioare: Ne vom baza pe măsurarea forțelor și distanțelor care sunt studiate în capitolele anterioare.
- Ghidarea discuțiilor colective: Organizăm muncă în grupuri. Elevii experimentează cu obiecte de mase diferite și răspund la întrebarea „Ce ați observat despre forța pe care ați aplicat-o și distanța parcursă?”
- Evaluarea înțelegerii: se realizează prin întrebări de tipul celor conceptuale (calitative) cu răspunsuri multiple, cum ar fi „Cine face un lucru mai mare: un muncitor care ține o cărămidă grea în mână sau un elev care mută un stilou? Justifică răspunsul.”

Să prezentăm tehnicile de bază pentru formarea cunoștințelor procedurale. În acest caz, elementele de învățare activă, învățarea bazată pe proiecte sau învățarea bazată pe cercetare. Elementul comun va fi lucrul în grup al elevilor sub forma unui mic proiect de cercetare.

Pentru tema „Puterea mecanică” procedurile de bază vor fi:

- Evocarea unor situații din viața reală: „Exemple despre energia cinetică a diferitelor mijloace de transport. Pe ce depinde această energie?”, „Exemple despre transformarea energiei potențiale în energie cinetică. Propunem elevilor să își aducă exemplele lor.”
- Activitate practică independentă: „Explorarea transformării energiei cinetice în energie potențială.”
- Proiecte în grupuri mici: „Transformarea energiei în mișcare oscilatorie”, „Studiul legii conservării energiei”, „Generarea energiei cinetice pentru mașini de curse.”
- Învățare bazată pe cercetare: proiectul „Energia mecanică în parcul de distracții”, unde elevii analizează diferite forme de energie mecanică sau proiectul „Energia cinetică în sistemele de transport”, unde elevii analizează factorii care influențează cantitatea de energie cinetică obținută.

Pentru formarea atitudinii corecte față de cunoaștere, vom sublinia următoarele componente ale lecției constructiviste:

- Construirea curiozității prin: încurajarea elevilor de a pune întrebări pentru a primi un răspuns personalizat, susținerea cercetării individuale a elevilor sub forma temelor pentru acasă,

realizarea de proiecte de cercetare mai aprofundate, cu un grad mai mare de libertate din partea elevilor.

- Prezența elementului de învățare activă care este ghidat și susținut de profesor, de exemplu prin scaffolding, atunci când elevii văd cum pot rezolva o problemă folosind cunoștințele noi.
- Feedback pozitiv și încurajare pentru dezvoltarea încrederii în sine și menținerea interesului pentru știință.
- Relevanța prin exemple de aplicare a conceptelor recent învățate în viața reală.

Înțelegerea științifică a lumii se bazează pe constructivism, care presupune efort cognitiv, raportare la concepțiile preexistente ale elevului și metacogniție. Orice lecție tradițională poate deveni una constructivistă prin integrarea cercetării ghidate de profesor și prin dezvoltarea capacității elevilor de a aplica noile cunoștințe. Modelul 5E (angajare, explorare, explicație, elaborare și evaluare) este prin natura sa constructivist, iar fiecare etapă implică activități esențiale, precum atmosfera empatică, întrebările provocatoare, lucrul în grup, analiza informațiilor și evaluarea formativă. Aceste componente susțin cele trei dimensiuni ale cunoașterii: conținut, proceduri și atitudini.

1.4. Laboratorul de fizică ca mediu constructivist de învățare

1.4.1 Laboratorul școlar ca mediu de învățare constructivist

În această secțiune este analizat rolul laboratorului școlar de fizică în susținerea învățării constructiviste. Pornind de la această premisă, analizăm laboratorul de fizică din două perspective:

- Laboratorul școlar ca mediu de învățare, a cărui dotare și organizare pot susține diverse abordări didactice constructiviste, precum învățarea prin cercetare, învățarea bazată pe proiecte, învățarea problematizată și predarea-învățarea vizibilă;
- Corelarea între mediul de învățare și motivația elevilor pentru efort cognitiv.

În funcție de obiectivele laboratorului de fizică, acesta poate fi clasificat în trei tipuri [201]:

1. Laboratoare bazate pe concepte, care urmăresc consolidarea cunoștințelor predate în manual. În aceste medii de învățare, activitatea de laborator are loc, de regulă, la finalul unei unități de conținut.
2. Laboratoare bazate pe competențe, destinate dezvoltării competențelor necesare învățării prin cercetare. În acest context, activitatea de laborator devine un proiect de cercetare derulat de elevi.
3. Laboratoare mixte, care combină cele două abordări, având ca scop atât formarea conceptelor științifice, cât și dezvoltarea aptitudinilor de cercetare.

Astfel, laboratoarele de tipul 1 sunt mai apropiate de modelele tradiționale, punând accent pe verificarea cunoștințelor asimilate, în timp ce cele de tip 2 oferă o mai mare autonomie elevilor, concentrându-se pe dezvoltarea competențelor practice și pe învățarea prin investigare. Pe de altă parte, laboratoarele de tip 3 reprezintă un echilibru între cele două, constituind mediul optim pentru consolidarea unei înțelegeri conceptuale profunde. Cercetările evidențiază că laboratoarele axate pe dezvoltarea deprinderilor experimentale contribuie semnificativ la formarea gândirii critice a elevilor, mai mult decât cele orientate exclusiv spre fixarea cunoștințelor.

În laboratoarele școlare tradiționale, sarcinile elevilor sunt adesea descrise prin expresia „mersul lucrării”, care implică executarea unui set de acțiuni prestabilite, fără a lăsa loc pentru planificarea sau desfășurarea unui experiment propriu. Elevii sunt instruiți să urmeze pașii indicați și să completeze un tabel predefinit cu datele măsurate, ceea ce limitează dezvoltarea gândirii critice și a inițiativei personale. În contrast, laboratoarele care oferă un grad mai mare de libertate le permit elevilor să-și construiască propria cunoaștere prin activități cognitive precum observarea, reflecția și analiza [116].

Pentru a spori autonomia elevilor în procesul de învățare, laboratorul trebuie să încurajeze cercetarea ghidată de profesor, iar pe măsură ce elevii avansează, întrebările de cercetare devin tot mai deschise. Studiile internaționale indică faptul că o autonomie mai mare în învățarea prin cercetare contribuie la creșterea interesului, motivației și încrederii elevilor în propriile capacități [182; 210].

Conceptul de libertate în explorarea științifică a elevilor se aliniază cu cele patru principii fundamentale ale constructivismului radical [12].

1. Cunoașterea este construită de elev, nu transmisă de profesor – elevul devine responsabil pentru propriul proces de învățare.
2. Construirea cunoașterii implică un efort cognitiv – elevii își creează propriile reprezentări mentale și le corelează cu cunoștințele anterioare. În acest fel, învățarea devine un proces adaptat profilului lor intelectual, emoțional și psihologic.
3. Cunoașterea preexistentă influențează învățarea – noile informații sunt asimilate în raport cu experiențele și cunoștințele deja acumulate.
4. Înțelegerea inițială este superficială și locală, dezvoltându-se treptat într-o înțelegere conceptuală profundă.

Pe lângă aceste principii, putem adăuga două aspecte esențiale pentru un mediu constructivist de învățare:

1. Învățarea se bazează pe comunicare continuă – este un proces social și interactiv, în care feedback-ul circulă atât între elevi, cât și între elev și profesor. O predare eficientă se construiește pe o comunicare avansată și colaborare.
2. Învățarea prin descoperire și explorare stimulează motivația și interesul – investigarea activă a fenomenelor fizice nu doar sporește curiozitatea, ci și facilitează o înțelegere profundă a noțiunilor noi. Învățarea devine astfel un proces de cercetare continuă din partea elevului [5].

De asemenea, într-un cadru constructivist, evaluarea nu se concentrează exclusiv pe rezultatele imediate ale memorizării, ci pe întregul proces de învățare. Accentul se pune pe înțelegerea conceptuală, în detrimentul unei cunoașteri superficiale și temporare. Această viziune asupra învățării reflectă principiile constructivismului radical, care pune accent pe rolul activ al elevului în procesul de construire a cunoașterii. Constructivismul radical promovează explorarea, descoperirea și conexiunile logice dintre concepte. Elevii sunt încurajați să formuleze întrebări, să investigheze fenomene și să își dezvolte propriile modele explicative. Această abordare transformă sala de clasă și laboratorul într-un spațiu interactiv de învățare, unde gândirea critică și autonomia intelectuală sunt cultivate sistematic.

Conceptul de constructivism radical poate fi implementat prin diverse modele educaționale, unul dintre cele mai eficiente fiind laboratorul școlar de fizică în format studio. Acest model reprezintă un mediu de învățare complex, în care elevii își dezvoltă atât înțelegerea conceptuală și funcțională a fizicii, cât și competențe esențiale, precum rezolvarea problemelor, cercetarea experimentală, utilizarea aparatelor de măsurare, aplicarea tehnologiilor și comunicarea eficientă. Specific acestui format este integrarea lecției de predare cu activitatea de laborator, acestea devenind o entitate unică în structura orarului. Această abordare facilitează o învățare activă, prin colaborare și centrată pe elev. Studiile arată că elevii care au învățat în format studio ating obiectivele cognitive la un nivel superior față de cei din sistemul tradițional [92]. Prin urmare, laboratorul școlar bazat pe principiile învățării prin cercetare asigură o implementare autentică a constructivismului în procesul didactic.

Laboratorul de fizică organizat conform principiilor constructiviste sau care sprijină învățarea prin cercetare oferă un cadru optim pentru aplicarea conceptului de „Natura Științei” (NS) (Nature of Science) (vezi Anexa 5), permițând elevilor să înțeleagă nu doar conceptele științifice, ci și modul în care știința funcționează. Acest concept este relevant nu doar pentru fizică, ci pentru toate științele naturale și include următoarele aspecte:

- a. În cadrul laboratorului, elevii descoperă, prin propriile lor investigații, procesul științific – de la formularea ipotezelor până la dezvoltarea modelelor explicative [32].

- b. Prin observațiile realizate și argumentele construite, elevii înțeleg că știința nu este un sistem rigid și imuabil, ci un proces dinamic, aflat într-o continuă evoluție.
- c. Prin măsurători, calcule și prezentarea rezultatelor, elevii conștientizează importanța responsabilității, eticii profesionale și transparenței în comunicarea științifică.

Scopul final al integrării conceptului NS este dezvoltarea gândirii critice și reflexive, conducând la o înțelegere mai profundă și mai conștientă a rolului științei în societatea contemporană. Acest demers contribuie la formarea competențelor necesare pentru învățarea continuă de-a lungul vieții.

Principiile fundamentale pentru un proces didactic bazat pe conceptul NS sunt următoarele [99]:

- Elevii trebuie să fie conștienți că predarea din clasă este realizată în conformitate cu principiile NS.
- Aspectele NS trebuie discutate întotdeauna în conexiune cu teme specifice predate la lecțiile de fizică sau abordate în lucrările de laborator.
- NS reprezintă un obiectiv de învățare distinct. Este esențial să facem diferența între trei dimensiuni educaționale: învățarea conținutului științific, învățarea metodelor de cercetare științifică și învățarea despre natura științei.
- Elevilor trebuie să li se ofere oportunități de a înțelege că știința nu este un sistem rigid, ci un domeniu dinamic, aflat într-o continuă evoluție.
- Prezentarea și discutarea rezultatelor cercetărilor realizate în grup contribuie la consolidarea înțelegerii NS de către elevi.

Pentru integrarea principiilor constructiviste și a conceptului NS în procesul educațional, pot fi aplicate următoarele abordări didactice [60]:

- Tutoriale interactive în fizică – Elevii sunt organizați în grupuri mici și utilizează tutoriale variate (texte, videoclipuri scurte, studii de caz etc.) pentru a asimila noțiuni noi. Procesul este interactiv datorită ghidajului continuu oferit de profesor, care facilitează discuțiile și clarificarea conceptelor.
- Medii de învățare bazate pe cercetare – Laboratorul școlar este transformat într-un spațiu în care elevii sunt tratați ca cercetători în formare [79; 80]. Prin activități de grup, aceștia își dezvoltă intuiția științifică, fără a fi penalizați pentru concepțiile inițiale eronate, astfel încât să nu le fie afectată motivația pentru învățare.

- **Învățare prin modelare** – Elevii colaborează în grupuri mici pentru a construi, testa, aplica și îmbunătăți modele conceptuale. Ulterior, toate grupurile se reunesc pentru a compara rezultatele și pentru a dezbate concluziile formulate.
- **Instruirea mutuală (Peer Instruction)** – Această metodă presupune schimbul de idei între elevi prin discutarea unor întrebări conceptuale formulate de profesor în cadrul evaluării formative. Instruirea mutuală împrumută elemente din metoda clasei inversate, deoarece elevii se familiarizează cu materialul înainte de lecție, facilitând astfel o învățare mai profundă.
- **Probleme complexe, contextualizate** – Fiecare temă din programa de fizică este asociată cu o problemă aplicată, pe care elevii o abordează din perspectiva unui expert. Prin rotație, fiecare elev preia rolul de expert, în timp ce colegii săi acționează ca ucenici. Această metodă îi ajută să învețe să identifice informațiile relevante într-un context complex.
- **Scalarea (extinderea interacțiunilor)** – Grupurile de elevi sunt organizate astfel încât să poată colabora la mese comune cu alte grupuri, facilitând astfel discuții la nivelul întregii clase. Această tehnică nu reprezintă o strategie pedagogică în sine, ci mai degrabă o modalitate de configurare a clasei, favorizând adoptarea diferențiată a stilurilor active de învățare.

Se poate observa că majoritatea abordărilor constructiviste menționate anterior se bazează pe lucrul în grup, facilitând astfel comunicarea, un aspect esențial al procesului educațional. Aceste metode recente pot fi corelate cu strategii didactice bine-cunoscute, precum învățarea prin cercetare, învățarea reflexivă, învățarea bazată pe proiecte, învățarea problematizată, predarea și învățarea vizibilă, învățarea activă și învățarea prin înțelegere. De exemplu, mediile de învățare a științei prin cercetare se aliniază principiilor învățării prin metoda cercetării, în timp ce modelarea și scalarea pot fi asociate cu învățarea bazată pe proiecte. Situații de problemă bogate în context reflectă metodologia învățării problematizate, iar instruirea mutuală este, prin excelență, o formă de învățare reflexivă, care implică în mod necesar înțelegerea profundă a conceptelor. Astfel, putem concluziona că abordările moderne de predare și învățare nu sunt în contradicție cu modelele tradiționale, ci se încadrează armonios în conceptele deja consacrate.

1.4.2 Organizarea învățării active în laborator

În această secțiune vom răspunde la întrebarea „Cum poate fi organizat laboratorul de fizică astfel încât să faciliteze învățarea activă a elevilor?”. Pentru a răspunde la această întrebare, este necesar să identificăm factorii care contribuie la caracterul activ al învățării, adică acele elemente care susțin un mediu constructivist în procesul educațional. Pe baza cadrului teoretic al acestei lucrări și a rezultatelor cercetărilor internaționale [117; 15; 174], propunem în Tabelul 1.8 o sinteză a principalilor factori ai învățării active.

Tabelul 1.8. Factorii învățării active

Procesele cognitive	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	

Analiza tabelului evidențiază trei factori esențiali ai învățării active, care sunt interconectați:

Procesele cognitive ca elemente de bază ale învățării active (vorbirea, ascultarea, citirea, scrierea, reflecția);

Strategiile de învățare, care se referă la activitățile elevilor, cum ar fi lucrul în grupuri mici, colaborarea, analiza situațiilor-problemă, discuțiile și ținerea unor jurnale individuale de laborator pentru înregistrarea reflecțiilor și concluziilor;

Resursele didactice, care includ materiale tradiționale și digitale menite să stimuleze interesul pentru cercetare și înțelegere.

Pentru a răspunde în mod concret la întrebarea de cercetare, trebuie să definim și elementele esențiale ale unui laborator de fizică organizat în manieră constructivistă, astfel încât să ofere elevilor mai multă autonomie în procesul de învățare.

Elementele laboratorului școlar de fizică organizat în stil constructivist

1. Echipament demonstrativ adecvat fiecărei lecții de fizică.
2. Echipament de laborator disponibil pentru fiecare grup de elevi.
3. Sensori digitali, care permit digitalizarea experimentelor de laborator.
4. Lucrări de laborator virtuale, utilizate în situațiile în care nu este posibilă realizarea experimentelor reale.
5. Sistem digital de evaluare, mai ales pentru evaluarea formativă, ce asigură feedback imediat și obiectivitate în procesul de evaluare.
6. Tablă sau panou interactiv, utilizat pentru simulări, vizualizarea experimentelor demonstrative, prezentarea și analizarea rezultatelor experimentelor realizate în grup.
7. Mobilier flexibil, adaptabil atât pentru activități de grup, cât și pentru activități individuale.

Digitalizarea laboratorului de fizică este un aspect esențial, având un impact semnificativ asupra înțelegerii conceptuale a elevilor, mai ales atunci când experimentele reale sunt combinate cu simulările [8; 173]. Rolul tehnologiilor informaționale și comunicaționale în optimizarea predării fizicii este documentat și de Davidenko [214], care arată că instrumentele digitale sporesc

eficiența învățării doar atunci când sunt integrate coerent în structura lecției, iar nu utilizate izolat, ca simplu supliment tehnic. Prin urmare, fiecare plan de lecție trebuie să includă o descriere clară a modului în care tehnologia didactică va fi utilizată în procesul de învățare. Totuși, este important de menționat că instrumentele digitale nu aduc beneficii semnificative elevilor cu performanțe mai slabe [199] Cel mai relevant aspect rămâne faptul că *nivelul de înțelegere conceptuală al elevilor este direct proporțional cu gradul de utilizare a laboratorului școlar*. Studiile arată că, în clasele în care laboratorul de fizică a fost utilizat mai frecvent, elevii au demonstrat o înțelegere mai profundă a conceptelor predate [194].

În cadrul acestei cercetări s-au analizat lucrările de laborator din cursul de fizică pentru clasa a VII-a și am încercat să le organizăm conform principiilor învățării constructiviste.

Experimentele selectate sunt următoarele:

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 active și rezistente.

Pentru a exemplifica aplicarea metodei constructiviste, analizăm organizarea lucrării de laborator „Determinarea vitezei medii a unui mobil” (vezi Anexa 6). O abordare constructivistă a acestei lucrări presupune ca activitatea practică să contribuie semnificativ la formarea cunoștințelor, dezvoltarea competențelor și formarea deprinderilor experimentale.

Prin formarea cunoștințelor, înțelegem aprofundarea conceptelor fizice investigate în cadrul experimentului. Aceste concepte sunt grupate pe parcursul cursului în Idei Științifice Mari, care constituie repere fundamentale ale învățării. Pentru Lab. 1, putem identifica trei astfel de idei principale: noțiunea de distanță, mișcarea rectilinie uniformă și conceptul de viteză medie. Acestea sunt strâns legate de obiectivele cognitive ale lecției și de competențele vizate. Un element esențial al abordării constructiviste îl reprezintă deprinderile de cercetare, deoarece ele diferențiază învățarea activă de predarea tradițională. Fără formarea acestora, activitatea practică riscă să se reducă la o simplă reproducere de proceduri, fără impact semnificativ asupra înțelegerii.

Astfel, rezultatele analizei sunt sintetizate în Tabelul 1.9 unde sunt descrise obiectivele unei lucrări de laborator organizate în stil constructivist.

Tabelul 1.9. Obiectivele lucrării de laborator

Lucrarea de laborator	Deprinderile de cercetare	Obiectivele cognitive	Ideile științifice mari
Determinarea vitezei medii a unui mobil	• Observarea fenomenului • Formularea ipotezei • Planificarea experimentului • Colectarea și analiza datelor • Interpretarea și prezentarea rezultatelor	• Înțelegerea noțiunii de mișcare rectilinie uniformă • Înțelegerea noțiunii de viteză medie	• Distanță • Mișcare rectilinie uniformă • Viteză / viteză medie

Pentru comparație prezentăm un tabel similar pentru lucrarea de laborator tradițională unde sunt descrise obiectivele operaționale conform taxonomiei lui Bloom (vezi Tabelul 1.10).

Tabelul 1.10. Obiectivele operaționale ale lucrării de laborator „Determinarea vitezei medii a unui mobil”

Categoria obiectivului	Obiective operaționale
Cunoaștere	• Să definească conceptului de viteză medie.
• Identificarea mărimilor fizice implicate în calculul vitezei medii (distanță și timp).	
Înțelegere	• Să explice relației dintre distanță, timp și viteză medie.
• Descrierea modului în care viteza medie caracterizează mișcarea unui mobil.	
Aplicare	• Să aplice corect formula $v_{med} = \frac{d_1+d_2+d_3}{t_1+t_2+t_3}$ pentru calcularea vitezei medii.
• Măsurarea distanței și timpului utilizând instrumente adecvate.	
Analiză	• Să compare rezultatele obținute în condiții diferite de experimentare.
• Interpretarea graficelor obținute pe baza datelor măsurate.	
Sinteză	• Să formuleze o concluzie privind influența distanței și a timpului asupra vitezei medii.
• Propunerea unor metode de reducere a erorilor experimentale.	
Evaluare	• Să argumenteze validarea rezultatelor obținute pe baza erorilor de măsurare.
• Examinarea limitărilor metodei experimentale utilizate.	

Reieșind din tabelele 1.9 și 1.10 putem afirma că în abordarea constructivistă, sunt descrise elementele ei principale:

Categorii de obiective – Tabelul structurează obiectivele lucrării de laborator în trei categorii principale: deprinderi de cercetare, obiective cognitive și idei științifice mari.

Activități practice și competențe – La secțiunea „Deprinderile de cercetare” sunt incluse etapele fundamentale ale procesului experimental: observarea fenomenului, formularea ipotezei, planificarea, colectarea și analiza datelor, interpretarea și prezentarea rezultatelor.

Obiective cognitive – Se axează pe înțelegerea conceptelor fundamentale ale mișcării rectilinii uniforme, în special noțiunile de viteză medie și mișcare.

Idei științifice mari – Se evidențiază concepte esențiale din fizică, precum distanța, mișcarea rectilinie uniformă și viteza, care servesc drept bază pentru înțelegerea fenomenelor mecanice.

În abordarea tradițională, sunt descrise obiectivele operaționale:

Cunoaștere – Elevii trebuie să învețe definiția vitezei medii și să identifice mărimile fizice esențiale implicate în calculul acestora (distanța și timpul).

Înțelegere – Se pune accent pe explicarea relației dintre distanță, timp și viteză medie, precum și pe descrierea modului în care aceasta caracterizează mișcarea unui mobil.

Aplicare – Elevii trebuie să folosească corect formula vitezei medii și să efectueze măsurători precise ale distanței și timpului, utilizând instrumente adecvate.

Analiză – Implică compararea rezultatelor în diferite condiții experimentale și interpretarea graficelor bazate pe datele colectate.

Sinteză – Elevii sunt încurajați să formuleze concluzii despre influența distanței și timpului asupra vitezei medii și să propună metode pentru reducerea erorilor experimentale.

Evaluare – Se axează pe argumentarea validității rezultatelor obținute prin analiza erorilor de măsurare și examinarea limitărilor metodei experimentale utilizate.

Această abordare tradițională urmează taxonomia lui Bloom, dezvoltând competențele cognitive ale elevilor de la simple cunoștințe teoretice la evaluarea critică a experimentului.

Această comparație evidențiază avantajele unei abordări constructiviste, care încurajează înțelegerea profundă și participarea activă în procesul de învățare.

Astfel, mai sus am prezentat etapele de bază ale unui proiect de cercetare realizat de elevi. O descriere detaliată a acestor etape poate fi găsită în lucrarea „Pedagogia învățării prin investigație și impactul ei asupra deprinderilor de cercetare științifică și învățare pe tot parcursul vieții” [41]. Este important de menționat că abilitatea elevilor de a observa, de a formula idei, de a planifica o acțiune investigativă și de a analiza rezultatele aparține sferei metacogniției, întrucât presupune autoreglarea proceselor de gândire. Aplicarea consecventă a principiilor constructiviste la lecție nu doar că stimulează gândirea activă și efortul cognitiv, ci, pe termen lung, contribuie la dezvoltarea autonomiei, responsabilității în învățare și a competențelor necesare pentru învățarea pe tot parcursul vieții. Pe lângă lucrările de laborator, un rol semnificativ în consolidarea înțelegerii conceptuale îl joacă experimentele demonstrative, fie ele realizate fizic sau prin simulări virtuale. Studiile indică faptul că o simulare scurtă poate avea un impact mai puternic asupra înțelegerii conceptelor decât lectura unui text din manual sau vizionarea unui tutorial video de câteva minute [192].

Pentru exemplificare, Tabelul 1.12 prezintă o selecție de experimente demonstrative utilizate în clasa a VII-a, în cadrul capitolului Interacțiuni.

Tabelul 1.11. 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=mec_h_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 două 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 implică direct acțiunea elevului, ci mai degrabă pe cea a profesorului, experimentul demonstrativ joacă un rol esențial în orice abordare constructivistă, deoarece contribuie la menținerea interesului elevilor pentru fizică. În organizarea activității elevilor în cadrul unei lucrări de laborator constructiviste, este important să avem în vedere existența a patru tipuri de acțiuni cognitive, clasificate în funcție de impactul lor asupra înțelegerii conceptuale, în ordine crescătoare [56]:

- *Acțiuni pasive* – precum ascultarea, unde elevul recepționează informația fără a se implica activ;
- *Acțiuni active* – în care elevul execută o sarcină, dar fără a adăuga un aport semnificativ la procesul de învățare;
- *Acțiuni constructive* – prin care elevul creează un material nou care depășește informațiile oferite de profesor, contribuind la aprofundarea cunoștințelor;
- *Acțiuni interactive* – în care doi sau mai mulți elevi colaborează, schimbă idei și dialoghează pe aceeași temă, valorificând reciproc contribuțiile fiecăruia.

Aceste etape sunt fundamentale în proiectarea unui laborator care să sprijine învățarea activă și exploratorie, favorizând o mai bună înțelegere a conceptelor științifice.

Sunt definite trei tipuri de laboratoare școlare, dintre care cele bazate pe formarea deprinderilor contribuie cel mai mult la dezvoltarea gândirii critice și analitice. Principiile

constructivismului radical sunt completate cu ideea că învățarea avansată necesită comunicare și efort de cercetare, fiind demonstrat că abordările constructiviste includ conceptul de „nature of science” și lucrul în grup. Organizarea laboratorului de fizică pentru învățarea activă implică analiza factorilor învățării, descrierea elementelor unui laborator constructivist, evidențierea obiectivelor acestuia ca similare cu cele ale învățării prin cercetare și utilizarea experimentelor demonstrative pentru stimularea interesului elevilor.

1.5. Concluzii la capitolul 1

Aplicarea constructivismului în lecția de fizică nu mai poate fi privită ca o opțiune teoretică, ci ca o condiție reală pentru obținerea unei înțelegeri conceptuale autentice. Experiența didactică arată că simpla expunere la conținuturi, oricât de bine structurată, nu conduce la restructurarea cunoașterii elevilor. Înțelegerea apare doar în momentul în care elevul este pus în situația de a gândi, de a compara, de a explica și de a-și confrunta propriile idei. Din acest motiv, constructivismul capătă relevanță nu prin definițiile sale, ci prin modul în care este transpus în acțiuni cognitive concrete la clasă. Lecția de fizică devine astfel un spațiu de activitate intelectuală reală, în care elevul nu doar recepționează informația, ci o construiește, o testează și o reorganizează. În acest context, direcțiile esențiale prin care această perspectivă poate fi fundamentată și aplicată în predarea fizicii sunt sintetizate în următoarele rezultate:

1. Este descrisă evoluția conceptului de paradigmă educațională și este arătat aportul autorilor acestui concept, precum Kuhn, Kieran Egan, Michael Fullan, Ioan Cerghit, Constantin Cucoș. Sunt descrise conceptele educaționale generale care stau la baza predării fizicii, ale lui Edward F. Redish, Lillian C. McDermott, David E. Meltzer și Ronald K. Thornton.
2. Este efectuată analiza cronologică a paradigmelor educaționale, începând cu educația tradițională și cea umanistă și terminând cu educația constructivistă și progresistă modernă. Este subliniat că fiecare etapă e caracterizată de o anumită metodă de predare a fizicii, cum ar fi: observarea empirică în antichitate, observarea fenomenologică în renaștere sau laboratorul școlar în cadrul educației progresiste din sec. XX. Sunt prezentate exemple de strategii constructiviste, precum învățarea prin acțiune, învățarea prin înțelegere, învățarea contextualizată sau învățarea prin cercetare. Este arătat că la baza acestor strategii stau lucrările teoreticienilor John Dewey, Lev Vygotsky, Jean Piaget, Jerome Bruner, Howard Gardner.
3. Sunt descrise principiile de bază ale constructivismului și este dată o serie de definiții ale constructivismului din perspectiva mai multor cercetători din Republica Moldova și România.
4. Sunt analizate mai multe tipuri de constructivism: cognitiv- asociat cu Jean Piaget; social- propus de Lev Vygotsky; radical- dezvoltat de Ernst von Glasersfeld; pragmatic- inspirat de John

Dewey; cultural- bazat pe ideile lui Jerome Bruner; tehnologic- rezultă din conceptul modelării prin creare al lui Seymour Papert; emoțional- fundamentat de John D. Mayer.

5. Sunt prezentate exemple de abordări constructiviste ce pot fi aplicate la lecția de fizică: învățarea activă, învățarea prin metoda cercetării sau învățarea problematizată. Toate aceste abordări sunt caracterizate reieșind din principiile fundamentale ale teoriei predării și învățării vizibile. Este arătat că o strategie didactică modernă se bazează pe trei piloni: *i)* efortul cognitiv al elevului; *ii)* comunicare elev-profesor; *iii)* metacogniția.

6. Este propusă scara paradigmelor educaționale, pe prima treaptă fiind învățarea activă cu mărimea efectului de circa 0,35, a doua treaptă corespunde învățării prin înțelegere cu mărimea efectului de circa 0,80, a treia treaptă corespunde învățării prin asumarea obiectivelor cognitive cu mărimea efectului 0,80-1,30.

7. Este demonstrat că succesul academic al elevilor crește proporțional cu nivelul de feedback primit din partea profesorului. Astfel strategiile cu efect puternic și foarte puternic sunt strategii bazate pe feedback: de exemplu, evaluarea formativă are un efect de 0,48, dezbaterile în clasă ghidate de profesor - 0,82, cunoașterea de către profesor a modului cum elevii au înțeles mesajul lui (Învățarea vizibilă) - 1,29.

8. Este evidențiat rolul constructivismului în promovare înțelegerii conceptuale la lecția de fizică și sunt arătați factorii - cheie care susțin acest rol: efortul cognitiv al elevului cunoștințele anterioare și metacogniția.

9. Sunt analizate fazele modelului didactic 5E din punctul de vedere al constructivismului și este arătat că feedbackul este prezent în fiecare fază ale lecției.

10. *Sunt explorate mecanismele* prin care constructivismul contribuie la cunoașterea teoretică, praxiologică și axiologică.

11. Sunt descrise caracteristicile de bază ale înțelegerii conceptuale: *i)* înțelegerea conceptuală ca rezultat al efortului cognitiv al elevului; *ii)* cunoștințele preexistente influențează înțelegerea conceptuală; *iii)* metacogniția care influențează puternic înțelegerea conceptuală.

12. Pe baza exemplului capitolului „Lucrul mecanic putere și energie mecanică” din cursul de fizică de clasa a VII-a este arătat cum poate fi formate înțelegerea conceptuală, cunoștințele procedurale și atitudinea. Pentru aceasta se vor utiliza astfel de procedee didactice: întrebări deschise, discuții colective, evocarea situațiilor din viața reală, activități practice independente sau proiecte în grupuri mici.

13. Este analizat rolul laboratorului școlar de fizică din două perspective: a) laboratorul școlar ca mediu de învățare care poate susține diferite strategii constructiviste de predare; b) corelarea între mediul de învățare și motivația elevilor pentru efort cognitiv.

14. În funcție de obiectivele laboratorului școlar de fizică este prezentată o clasificare a laboratoarelor: laboratoare bazate pe concepte - acestea consolidează teorie din manual; laboratoare bazate pe competențe; laboratoare mixte care combină cele două abordări.
15. Este arătat că explorarea științifică a elevilor în laboratorul școlar de fizică corespunde principiilor constructivismului radical: *i*) cunoașterea este construită de elev; *ii*) cunoașterea depinde de profilul intelectual emoțional și psihologic al elevului; *iii*) cunoștințele preexistente influențează învățarea; *iv*) inițial înțelegerea este superficială, iar înțelegerea conceptuală profundă se dezvoltă treptat.
16. Este descris modul în care activitatea în cadrul laboratorului școlar de fizică urmărește aplicarea principiilor „Nature of Science” a) În cadrul laboratorului elevii parcurg etapele procesului de descoperire științifică - de la formarea ipotezelor până la dezvoltarea modelelor; b) prin observațiile realizate, elevii înțeleg caracterul dinamic al științei, iar prin măsurări și calcule conștientizează importanța acurateței în prelucrarea datelor. În acest context sunt propuse o serie de abordări didactice care contribuie la integrarea constructivismului în predarea fizicii: tutoriale interactive, învățarea prin modelare, instruirea mutuală, scalarea. Aceste strategii contribuie la dezvoltarea gândirii autonome, a capacității de investigare și a competențelor necesare pentru învățarea pe tot parcursul vieții.
17. Este propusă o sinteză a factorilor de bază ai învățării active, acești factori sunt: procesele cognitive (vorbitura, ascultarea, citirea, reflecția), strategiile de învățare (lucrurile în grup, colaborarea, situații de problemă, jurnale individuale), resursele didactice tradiționale și digitale.
18. Sunt definite elementele esențiale a unui laborator școlar de fizică organizat în manieră constructivistă, astfel încât laboratorul să poată oferi în același timp mai multă autonomie pentru elevi și mai mult ghidaj din partea profesorului. Sunt prezentate modele de lucrări de laborator organizate în stil constructivist și care țin cont de conceptul Ideilor Științifice Mari. În acest sens sunt descrise obiectivele cognitive și operaționale ale lucrării de laborator
19. Este arătat rolul experimentelor demonstrative în consolidarea înțelegerii conceptuale. Totodată, este subliniat faptul că o simulare virtuală scurtă poate avea un impact mai puternic asupra înțelegerii conceptuale decât lectura unui text din manual.
20. Acțiunile elevilor în timpul lucrării de laborator sunt clasificate în: *i*) acțiuni pasive - elevii recepționează informația fără a se implica activ; *ii*) acțiuni active - elevii execută o anumită sarcină; *iii*) acțiuni constructive - elevii creează un material nou; *iv*) acțiuni interactive - doi sau mai mulți elevi colaborează și fac schimb de idei.

Rezultatele prezentate în acest capitol arată că înțelegerea conceptuală în predarea fizicii nu este un efect al transmiterii conținuturilor, ci rezultatul efortului cognitiv susținut al elevului,

realizat în condiții de comunicare activă și feedback permanent. Diferențele dintre strategiile didactice se explică prin nivelul de implicare cognitivă și prin calitatea legăturii inverse elev-profesor, fapt confirmat de variația mărimii efectului în cadrul paradigmelor educaționale. În acest sens, este conturată o scară a învățării care evoluează de la învățarea prin acțiune, la învățarea prin înțelegere și până la asumarea obiectivelor cognitive ale învățării. Aplicarea constructivismului devine astfel operațională prin organizarea lecției în modelul 5E, prin utilizarea sistematică a feedbackului și prin valorificarea cunoștințelor anterioare ale elevilor. În același timp, laboratorul școlar, organizat pe principii constructiviste, reprezintă mediul în care aceste mecanisme se integrează, prin activități de cercetare prin colaborare și raportarea la situații reale, conducând la construirea treptată a cunoașterii. În acest mod, capitolul delimitează condițiile concrete în care constructivismul poate fi aplicat efectiv în lecția de fizică și fundamentează demersul ulterior al cercetării.

Cercetarea teoretică prezentată în acest capitol decurge din următoarele lucrări. Evoluția și analiza comparativă a paradigmelor educaționale, discutate în paragraful 1.1, constituie subiectul lucrării Zelenschi, *Evoluția și analiza comparativă a paradigmelor educaționale* [208]. Pornind de la acest cadru, paragraful 1.2 aprofundează aplicarea constructivismului la lecția de fizică, efortul cognitiv, metacogniția și feedback-ul bidirecțional elev-profesor, temă tratată pe larg în Calalb & Zelenschi, *Abordări constructiviste la lecția de fizică* [47]. Organizarea propriu-zisă a lecției în cheie constructivistă, precum și structura modelului 5E, prezentate în paragraful 1.3, s-au conturat prin sinteza bibliografiei internaționale și naționale de specialitate, oferind fundamentul teoretic pentru exemplele didactice originale dezvoltate ulterior în teză. În fine, rolul laboratorului școlar ca mediu constructivist de învățare, analizat în paragraful 1.4, a fost detaliat în Calalb & Zelenschi, *Modele de medii constructiviste de învățare a fizicii* [49].

2. BAZE METODOLOGICE ALE APLICĂRII CONSTRUCTIVISMULUI ÎN PREDAREA FIZICII

2.1 Fundamentele constructiviste ale învățării fizicii

2.1.1 Fundamentele epistemice și psihopedagogice ale învățării constructiviste

Fundamentele constructiviste ale învățării fizicii trebuie înțelese nu ca un ansamblu de metode didactice, ci ca o schimbare de perspectivă asupra naturii cunoașterii și a modului în care aceasta se formează la elev. În abordarea constructivistă, învățarea nu mai este interpretată ca un proces de transmitere și acumulare a informațiilor, ci ca un proces de reconstrucție internă a sensului, realizat prin activitatea cognitivă a elevului în interacțiune cu mediul educațional. Astfel, analiza fundamentelor epistemice și psihopedagogice ale constructivismului devine esențială pentru înțelegerea mecanismelor prin care se formează înțelegerea conceptuală, precum și pentru fundamentarea strategiilor didactice utilizate în predarea fizicii.

În această cercetare, constructivismul este tratat ca fundament epistemic și psihopedagogic al învățării, iar modelele și strategiile didactice analizate reprezintă modalități distincte de operaționalizare a principiilor sale, fără a fi considerate echivalente între ele sau cu constructivismul însuși.

Vom evidenția legătura dintre constructivism și componentele cunoașterii: înțelegerea conceptuală, cunoașterea procedurală și cunoașterea axiologică.

Teoria constructivistă în educație se bazează pe trei principii fundamentale care reflectă procesele complexe de învățare și predare:

1. **Reconstrucția conceptuală:** înțelegerea conceptuală este rezultatul proceselor cognitive ale elevului, care se desfășoară prin interacțiunea acestuia cu mediul extern și cu cel educațional. Acest proces are la bază experiențele și concepțiile anterioare, care constituie fundamentul pentru dezvoltarea unor noi înțelesuri. Elevul devine astfel un participant activ la propria învățare, reconstruindu-și continuu cunoașterea.
2. **Efortul cognitiv activ:** învățarea presupune un efort intelectual activ și conștient din partea elevului. Acest principiu subliniază că procesul de înțelegere nu este unul pasiv, ci implică participare și reflecție continuă asupra informațiilor nou primite.
3. **Rezistența cognitivă la schimbare:** structura cognitivă a elevului, formată din concepțiile sale anterioare, este rezistentă la schimbare. Aceasta înseamnă că, deși concepțiile inițiale pot persista, ele sunt totuși susceptibile de a fi modificate printr-un proces de învățare profund și semnificativ. Efortul de predare poate să nu fie suficient pentru a produce schimbări, însă învățarea activă are un potențial mai mare de transformare a acestor structuri cognitive.

Aceste principii, care definesc constructivismul, integrează elemente ale învățării și predării vizibile [102], ale învățării prin cercetare [100; 41; 3], precum și fundamentele conceptuale ale constructivismului [157; 171]. Fiind intrinsec legat de procesul de înțelegere conceptuală, constructivismul poate fi interpretat ca o formă de „învățare cu sens”, în care elevul își construiește propriile concepte ca rezultat al activităților cognitive desfășurate în cadrul lecțiilor de fizică.

Cu toate acestea, un număr semnificativ de elevi nu reușesc să atingă o înțelegere conceptuală profundă, ceea ce duce la un interes scăzut și o motivație redusă pentru învățarea fizicii [4; 75]. Această situație subliniază importanța diversificării strategiilor educaționale bazate pe constructivism, cum ar fi învățarea pe bază de proiect, învățarea prin problematizare, colaborare și cercetare. În esență, toate aceste forme de învățare se bazează pe participarea activă a elevilor la procesul de (re)construire a cunoașterii, tratându-i ca pe niște cercetători aflați la început de drum, ghidați de profesor [94].

Prin urmare, o abordare pedagogică constructivistă includ:

- a. ghidarea activităților de cercetare ale elevilor în vederea construirii propriei cunoașteri;
- b. dezvoltarea competențelor de aplicare practică a cunoștințelor dobândite.

Această viziune asupra constructivismului transformă profesorul într-un facilitator al învățării iar pe elev îl plasează în centrul procesului educațional.

Reieșind din aceasta vom examina interconexiunile dintre constructivism și învățarea prin cercetare, precum și rolul esențial al metacogniției în dezvoltarea unei înțelegeri conceptuale profunde. Abordarea constructivistă în educație subliniază importanța activităților de cercetare și a reflecției metacognitive în procesul de învățare, considerându-le elemente fundamentale pentru construirea cunoașterii de către elevi. Învățarea prin cercetare oferă un cadru educațional adecvat pentru manifestarea și dezvoltarea acțiunilor cognitive ale elevilor. Prin implicarea în activități de investigare, elevii își dezvoltă abilități de gândire critică și analitică, esențiale pentru formarea unei înțelegeri conceptuale solide. Acest tip de învățare promovează un climat de cercetare colectivă, în care grupuri de elevi, sub îndrumarea profesorului, colaborează pentru a explora și a înțelege concepte complexe. Astfel, învățarea prin cercetare nu se rezumă la un set de reguli pentru organizarea predării-învățării, ci se concentrează pe crearea unui mediu în care elevii participă activ la procesul de descoperire și construcție a cunoașterii [202].

Metacogniția, definită ca proces de conștientizare și gestionare a propriilor mecanisme cognitive, joacă un rol crucial în formarea înțelegerii conceptuale. Elevii care își dezvoltă competențe metacognitive sunt capabili să își monitorizeze și să își regleze strategiile de învățare, ceea ce favorizează atât aprofundarea cunoștințelor, cât și aplicarea lor eficientă. În contextul

învățării prin cercetare, metacogniția facilitează reflecția asupra proceselor de investigare și permite elevilor să își ajusteze abordările în funcție de cerințele specifice ale sarcinilor de învățare.

De asemenea un aspect esențial al constructivismului îl reprezintă promovarea cooperării și colaborării între elevi, în detrimentul competiției și rivalității [119]. Prin intermediul activităților de grup și al proiectelor comune, elevii învață să își împărtășească ideile, să își asculte colegii și să construiască împreună cunoașterea. Acest mediu colaborativ nu doar că îmbunătățește înțelegerea conceptuală, dar contribuie și la dezvoltarea abilităților sociale și a competențelor de comunicare.

Astfel, integrarea principiilor constructiviste cu metodele de învățare prin cercetare și dezvoltarea competențelor metacognitive reprezintă o abordare eficientă pentru formarea unei înțelegeri conceptuale profunde la elevi.

Având în vedere că înțelegerea conceptuală nu este un fenomen colectiv, ci rezultă dintr-o serie de variabile interne specifice fiecărui elev, această lucrare își propune să analizeze rolul metacogniției în cadrul predării constructiviste. Cercetările existente evidențiază atât impactul pozitiv al componentelor metacognitive asupra procesului de învățare, cât și creșterea nivelului de metacogniție și motivație ca urmare a aplicării constante a metodelor constructiviste eficiente, precum metoda mozaicului.

În contextul educațional actual, metacogniția, care e definită ca abilitatea de a reflecta asupra propriilor procese de gândire și de a le reglementa, joacă un rol esențial în facilitarea învățării profunde și durabile. Prin integrarea strategiilor metacognitive în predarea constructivistă, elevii sunt încurajați să devină conștienți de propriile lor procese cognitive, să își monitorizeze înțelegerea și să își ajusteze strategiile de învățare în mod autonom. Această abordare nu doar că îmbunătățește performanțele academice, dar contribuie și la dezvoltarea unei atitudini proactive față de învățare.

Conform cercetărilor metodele tradiționale de predare a fizicii, axate pe transmiterea unilaterală a informațiilor de la profesor către elev, sunt inefficiente în asigurarea unei înțelegeri profunde a conceptelor științifice [65]. În schimb, este recunoscută eficiența abordărilor constructiviste, care pun accent pe implicarea activă a elevului în procesul de învățare prin experiență directă și reflecție [185]. În continuare, vom descrie succint diverse metode constructiviste utilizate în predarea fizicii.

Învățarea prin explorare este o metodă constructivistă esențială în cadrul căreia se pune accent pe experimentarea directă și observație în procesul de dobândire a cunoștințelor. Conform teoriei lui Piaget, elevii își construiesc cunoștințele prin interacțiunea activă cu mediul înconjurător, desfășurând activități care le permit să observe fenomene, să experimenteze și să

formuleze propriile concluzii [161]. În predarea fizicii, această metodă se concretizează prin activități experimentale care facilitează observarea și testarea directă a legilor fizice. De exemplu, cercetările evidențiază faptul că utilizarea experimentelor practice, precum simulările mișcării sau ale forțelor, contribuie semnificativ la o mai bună înțelegere a conceptelor fundamentale și la aplicarea acestora în contexte variate [128].

Învățarea problematizată s-a dovedit, de asemenea, extrem de eficientă în învățarea fizicii, întrucât promovează gândirea critică și aplicarea practică a cunoștințelor. Un studiu realizat de Hmelo-Silver indică faptul că învățarea problematizată ajută elevii să își dezvolte abilități de rezolvare a problemelor și să aplice conceptele fizice în situații autentice, facilitând astfel o înțelegere mai profundă a disciplinei [110]. Această metodă de învățare activă presupune colaborarea în grupuri pentru analiza și soluționarea unor probleme reale, dezvoltând totodată competențe esențiale precum comunicarea și cooperarea. În plus, conform [109] învățarea problematizată sprijină elevii în identificarea relevanței practice a conceptelor fizice, consolidând astfel atât înțelegerea teoretică, cât și aplicabilitatea acestora.

Învățarea bazată pe proiecte este o altă metodă constructivistă eficientă care integrează conceptele fizice într-o abordare interdisciplinară și le permite elevilor să analizeze probleme complexe într-un mod creativ și aplicat. Proiectele oferă oportunități pentru explorarea și utilizarea cunoștințelor într-un context practic, ceea ce nu doar că îmbunătățește înțelegerea conceptelor fizice, dar și contribuie la dezvoltarea competențelor generale de rezolvare a problemelor și gândire critică [191]. De exemplu, într-un proiect educațional, elevii pot fi provocați să proiecteze și să testeze un dispozitiv care aplică principii fizice pentru a soluționa o problemă concretă [107]. Această abordare nu doar că le oferă oportunitatea de a transpune cunoștințele teoretice în practică, dar contribuie și la dezvoltarea competențelor de gestionare a proiectelor și de colaborare în echipă.

Învățarea reflexivă, care este bazată pe analiza experienței personale și autoevaluarea critică a propriilor procese de gândire, contribuie la formarea unei gândiri autonome și aprofundate. Ea are un rol esențial în procesul de învățare constructivistă, oferind elevilor oportunitatea de a analiza, interpreta și integra informațiile acumulate. În cadrul discuțiilor de grup, aceștia pot împărtăși perspective, dezbate concepte și clarifica eventualele neînțelegeri. Potrivit teoriei lui Vygotsky, această formă de interacțiune stimulează învățarea prin colaborare și dezvoltarea cognitivă [198].

Jurnalele de reflecție sunt o metodă eficientă bazată pe metacogniție, care îi ajută pe elevi să-și examineze propriile procese de învățare și să identifice aspectele ce necesită îmbunătățire. Prin intermediul reflecției, aceștia pot înțelege mai clar mecanismele prin care au ajuns la anumite concluzii și cum pot valorifica aceste experiențe în viitor [160].

Simulările virtuale reprezintă instrumente didactice valoroase, permițând elevilor să exploreze concepte abstracte într-un mod vizual și interactiv. Ele oferă posibilitatea de a observa fenomene fizice complexe și de a analiza efectele acestora într-un mediu controlat [206]. Cercetările din domeniul predării fizicii (Physics Education Research) au demonstrat eficiența simulărilor asupra formării înțelegerii conceptuale [128]. De asemenea, modelele fizice și reprezentările vizuale sunt utile pentru concretizarea conceptelor abstracte, oferind elevilor un cadru intuitiv pentru înțelegerea și aplicarea acestora [205]. Această abordare vizuală este deosebit de benefică în predarea fizicii, unde numeroase concepte sunt dificil de asimilat fără suport vizual adecvat.

Metoda mozaicului [22], ca una eminamente constructivistă, promovează învățarea activă și prin colaborare, oferind elevilor oportunitatea de a-și construi cunoștințele prin interacțiune și reflecție. Aplicarea constantă a acestor metode a demonstrat o creștere semnificativă a competențelor metacognitive și a motivației elevilor. De exemplu, metoda mozaicului implică împărțirea unei sarcini complexe în segmente mai mici, fiecare elev devenind responsabil pentru o parte specifică a materialului. Ulterior, elevii își împărtășesc cunoștințele în cadrul grupului, consolidând astfel înțelegerea colectivă și individuală. Acest proces nu doar că facilitează învățarea profundă, dar și stimulează dezvoltarea abilităților metacognitive, deoarece elevii trebuie să își planifice, monitorizeze și evalueze propriul proces de învățare.

Evaluarea formativă și feedbackul constant sunt elementele esențiale a tuturor strategiilor constructiviste de predare [20]. Feedbackul continuu sprijină elevii în ajustarea și consolidarea înțelegerii, iar autoevaluarea îi încurajează să reflecteze asupra propriilor procese de învățare, contribuind astfel la o dezvoltare academică autonomă și eficientă [19]. Aceste practici contribuie la crearea unui mediu de învățare în care elevii sunt activ implicați în procesul lor educațional, dezvoltând abilități critice și reflexive care sunt esențiale pentru succesul academic și profesional după absolvirea școlii.

Rolul activ al elevului reprezintă un element esențial în orice paradigmă pedagogică constructivistă, constituind fundamentul pe care se construiesc strategiile educaționale moderne. Această abordare se bazează pe ideea că elevii nu sunt simpli receptori pasivi ai informației transmise de profesor, ci agenți activi ai procesului de învățare, capabili să își construiască propriile cunoștințe prin explorare, reflecție și interacțiune. Diversitatea metodelor de predare constructivistă este formalizată în cadrul Modelului Constructivist de Învățare (Constructivist Learning Model), un cadru teoretic utilizat pe scară largă în cercetările dedicate predării științelor (vezi Anexa 7).

Printre modelele influente propuse în literatura de specialitate se numără cel elaborat de David N. Perkins, profesor la Harvard Graduate School of Education. Modelul său se bazează pe cinci principii fundamentale care ghidează procesul de predare și învățare [157]:

1. Participarea activă a tuturor elevilor: în cadrul activităților desfășurate în clasă, fiecare elev este încurajat să contribuie, să intervină și să își exprime ideile, consolidând astfel învățarea activă.
2. Utilizarea cunoștințelor anterioare: elevii sunt invitați să aplice conceptele și informațiile deja învățate pentru a analiza și rezolva situații noi, ceea ce facilitează transferul de cunoștințe.
3. Promovarea unui climat de dezbatere și discuții: crearea unui mediu educațional deschis și interactiv favorizează schimbul de idei și învățarea prin colaborare.
4. Motivarea prin întrebări stimulative – Profesorii folosesc întrebări bine direcționate pentru a încuraja investigația, gândirea critică și dorința elevilor de a explora teme suplimentare.
5. Revizuirea concepțiilor preexistente: elevii sunt ghidați să reevalueze și, dacă este necesar, să renunțe la ideile sau conceptele anterioare care nu mai sunt valide în lumina noilor informații.

Acest model, plasat în paradigma constructivistă, își propune să pună elevul în centrul procesului educațional, oferindu-i resursele și cadrul necesar pentru dezvoltarea autonomiei în învățare. Astfel, elevul este perceput ca un constructor activ al cunoașterii, care:

- colectează date și informații relevante pentru sarcinile propuse;
- formulează ipoteze pe baza observațiilor și analizei;
- analizează și generalizează rezultatele obținute;
- dezbate soluții și concepte alături de colegi și profesori;
- interacționează într-un mod semnificativ cu mediul educațional, incluzând profesorul și colegii;
- aplică cunoștințele și competențele dobândite la situații noi și complexe.

Modelele de învățare constructivistă conțin aceleași elemente ale gândirii științifice, pe care le întâlnim și la învățarea prin cercetare, de exemplu:

- identificarea sau formularea problemei;
- formularea ipotezei;
- testarea ipotezei;
- interpretarea rezultatelor obținute;
- generalizarea sau formularea legităților.

În acest fel, în cadrul învățării constructiviste, elevii repetă în clasă pașii cercetării științifice autentice. Paradigma constructivistă pornește de la premisa că întrebarea este motorul cunoașterii: orice concept nou își are originea într-un demers de explorare care generează reflecție

și reconstrucție conceptuală. Deci, rolul profesorului la predarea constructivistă este: *i)* pentru fiecare lecție să aleagă cele mai adecvate întrebări, care să stârnească interesul elevilor pentru găsirea răspunsului; *ii)* să faciliteze și să direcționeze explorarea colectivă a elevilor spre formularea unei noi noțiuni, legi, reguli sau principiu. Subliniem că acest lucru îl întâlnim în mai multe strategii didactice [184], cum ar fi:

- învățarea științelor prin cercetare;
- învățarea prin colaborare;
- învățarea problematizată;
- învățarea prin construirea hărților conceptuale;
- învățarea susținută de tehnologie.

Toate aceste strategii au diferiți factori de impact asupra succesului academic al elevilor [102]. Dar, oricare ar fi strategia didactică constructivistă, aceasta presupune un rol activ al elevului în actul de învățare, bazat pe asumarea personală a obiectivelor cognitive [40] și pe motivarea intrinsecă.

Să analizăm cum putem forma motivarea intrinsecă. Pentru aceasta ne vom baza pe următoarele resurse interne ale elevului:

- Cunoștințele și concepțiile anterioare: învățarea constructivistă recunoaște că elevii vin în clasă cu un bagaj cognitiv, credințe și experiențe preexistente. Aceste înțelegeri anterioare pot afecta modul în care informațiile noi sunt asimilate sau adaptate. Convingerile elevilor despre un subiect pot fie să faciliteze, fie să împiedice formarea de concepte corecte. Pentru a înlătura influența acestor convingeri vom face apel la cunoștințele învățate anterior în clasă. Beneficiul va fi dublu: se va repeta și consolida materia anterioară, dar și se va forma un concept nou corect. Este vorba despre învățarea recurentă [40].
- Implicarea activă: învățarea n-ar fi constructivistă dacă n-ar pune accent pe implicarea activă a tuturor elevilor. Prin implicare activă se personalizează actul de învățare, subiectul studiat capătă sens personal. Așa este mai probabil ca elevul să investească efort cognitiv în explorarea, discutarea și reflectarea asupra ideilor prezentate de profesor sau colegi. Tocmai din acest motiv, cercetările pun accent pe aplicarea sistematică, nu sporadică, a unei și aceleași metode constructiviste în clasă. Deoarece astfel se formează o trăsătură fără de care e imposibil actul cunoașterii – curiozitatea [130].
- Gândirea critică și schimbarea de perspectivă: abordările constructiviste necesită adesea ca elevii să-și acceseze gândirea critică și să ia în considerare mai multe opinii sau puncte de vedere. În timpul discuțiilor și dezbaterilor din clasă ghidate de profesor se întâlnesc diferite convingeri

personale ale elevilor. Expunerea la diverse puncte de vedere încurajează elevii ca, pe baza dovezilor și raționamentelor colegilor și profesorului, precum și a rezultatelor activităților de cercetare sau analiză, să-și perfecționeze convingerile anterioare [7].

- Interacțiunea și colaborarea: învățarea constructivistă este una prin colaborare, la nivel de grupuri, perechi, sau clasă. Rezultatele învățării prin colaborare sunt mai prețioase decât cele ale învățării solitare [108; 159]. Pe de altă parte, cele mai eficiente strategii didactice au o componentă puternică a feedbackului. Adică numărul de interacțiuni elev – elev și elev – profesor determină gradul de constructivism al strategiei didactice aplicate, deoarece partajarea înțelegerii conceptuale poate avea loc doar prin discuții [133].
- Metacogniția și autoreglarea învățării: convingerile personale, despre care s-a vorbit mai sus, influențează procesele metacognitive, cum ar fi conștientizarea convingerilor proprii, monitorizarea și reglarea învățării proprii. Dacă elevul este conștient de propriile abilități și strategii de învățare, poate să-și planifice și ajusteze strategiile de învățare pentru a-și atinge obiectivele cognitive, atunci putem vorbi de un grad înalt de constructivism [144].
- Construirea înțelegerii conceptuale personale: în învățarea constructivistă, elevii își construiesc în mod activ propria înțelegere conceptuală reieșind din convingerile și experiențele personale. Constructivismul se bazează pe recunoașterea și respectarea convingerilor personale ale elevilor, chiar dacă ele sunt greșite. Prin abordarea concepțiilor greșite, promovarea dialogului deschis într-un mediu de învățare empatic putem ajuta elevii să dezvolte înțelegeri conceptuale precise și solide [189; 193].

Constructivismul, ca paradigmă pedagogică, evidențiază structura multidimensională a cunoașterii, în sensul că aceasta nu reprezintă o simplă sumă de informații, ci un sistem format din: *i)* cunoașterea sau înțelegerea conceptuală; *ii)* cunoașterea procedurală; *iii)* cunoașterea axiologică.

Înțelegerea conceptuală se referă în principal la înțelegerea profundă a noțiunilor, legilor, principiilor, conceptelor și ideilor de bază. De exemplu, pentru tema „Mișcarea rectilinie uniform variată. Accelerația” din cursul de fizică de clasa a X-a:

Cunoașterea conceptuală include:

- Înțelegerea definiției mișcării uniform variate. Elevul înțelege că viteza obiectului variază în mod constant în timpul mișcării.
- Cunoașterea formulei pentru ecuația mișcării, înțelegerea sensului fizic și cunoașterea unităților de măsură pentru fiecare mărime fizică din ecuație.

- Înțelegerea cauzelor și efectelor accelerației constante: accelerația constantă e cauzată de forțe constante care acționează asupra obiectului. Efectul accelerării este creșterea constantă a vitezei.
- Interpretarea corectă a graficului deplasării, vitezei și a accelerației ca funcții de timp. În cazul mișcării uniform accelerate, graficul deplasării va fi o parabolă, graficul vitezei va fi o linie dreaptă, panta căreia coincide cu valoarea accelerației, iar graficul accelerației va fi o linie dreaptă paralelă cu axa absciselor (deoarece accelerația este constantă).

Cunoașterea procedurală pentru același capitol include:

- Identificarea mărimilor cunoscute reieșind din grafic, tabel sau enunțul problemei;
- Aplicarea formulei de calcul și/sau deducerea ei;
- Efectuarea calculelor matematice cu aducerea tuturor mărimilor în același sistem de unități de măsură;
- Interpretarea rezultatului sau înțelegerea semnificației valorii obținute în contextul problemei date.

Cunoașterea axiologică ține de faptul că elevul recunoaște valoarea științei și înțelege necesitatea de a cunoaște și de a ține cont de legile naturii. Astfel, cunoașterea axiologică pentru tema „Mișcarea rectilinie uniform variată. Accelerația” implică:

- Valorizarea cunoașterii științifice: elevul înțelege și apreciază rolul fizicii în explicarea fenomenelor din lumea înconjurătoare, cum ar fi demararea unui bolid de Formula 1, căderea liberă sau mișcarea Lunii în jurul Pământului. Aceasta presupune recunoașterea importanței învățării și explorării legilor naturii și a fenomenelor fizice.
- Respect pentru principiile fundamentale care guvernează mișcarea uniform accelerată. Elevii care au această cunoaștere pot înțelege și recunoaște că obiectele aflate în mișcare uniform accelerată își vor schimba constant și uniform viteza.
- Respect pentru precizie: elevul recunoaște importanța preciziei în măsurători și calcule. Elevii care au acest tip de cunoaștere axiologică înțeleg că pentru a obține rezultate valide și fiabile este necesară aplicarea corectă a formulelor și unităților de măsură.

Această caracteristică structurată a înțelegerii conceptuale confirmă că abordările constructiviste nu sunt neutre din punct de vedere social și arată legătura complexă între știință, tehnologie, societate și mediul înconjurător. Mai mult decât atât, această abordare constructivistă a înțelegerii conceptuale reflectă pe deplin natura socială a științei (NS) [54]. Astfel, orice model constructivist de învățare se bazează pe rolul activ al elevului și pe integrarea strategiilor didactice precum învățarea prin cercetare, colaborare sau proiecte. De exemplu, modelul instrucțional 5E

facilitează învățarea științelor, oferind profesorului rolul de ghid în procesul de descoperire. În acest context subliniem că succesul învățării depinde de metacogniție, care este influențată de înțelegerea conceptuală, cunoașterea procedurală și cunoașterea axiologică.

2.1.2 Modelul de instruire 5E ca expresie operațională a constructivismului

Un alt model constructivist de învățare este modelul de instruire 5E (*5E Instructional Model*) elaborat la sfârșitul anilor '80 ai sec. XX de către cercetătorii din grupul BSCS (*Biological Science Curriculum Study*) și folosit în special pentru predarea științelor [35]. Fazele modelului 5E sunt:

Implicarea elevilor în studierea unui concept nou pentru ei prin situații de problemă. Are loc activarea cunoștințelor anterioare. Pentru această fază inițială profesorul pregătește un set de întrebări care să provoace curiozitatea elevilor și să deschidă discuția la tema nouă. De exemplu, la capitolul Mișcarea uniform accelerată, când elevii analizează o cursă virtuală de mașini, astfel de întrebări ar fi: „Ce se întâmplă cu viteza și poziția mașinii în timpul apăsării pe accelerator?”, „Cum variază viteza și poziția mașinii la mișcarea uniform accelerată?”, „Prin ce se deosebește mișcarea uniform accelerată de mișcarea uniformă?”

Explorarea: elevii generează idei și concepte noi în cadrul discuțiilor, activităților practice și de laborator. Are loc o cercetare prealabilă a problemei. Faza poate fi caracterizată și prin disonanța cognitivă care apare în mintea elevilor, dar care va fi privită ca pe un motor al învățării prin cercetare. Studiile arată că această fază contribuie cel mai mult la formarea înțelegerii conceptuale, deoarece este faza cu elevul în locul central.

Exemplu de activitate „Studierea căderii libere a unei bile de hârtie” pentru faza de explorare.

- 1) Împărțim clasa în grupuri mici și furnizăm fiecărui grup un set de materiale: un cronometru, o bilă de hârtie, o foaie de hârtie și o riglă.
- 2) Cerem fiecărui grup să investigheze cum se comportă bila de hârtie în cădere liberă.
- 3) Solicităm elevilor să măsoare de câteva ori timpul de cădere al bilei de la o anumită înălțime.
- 4) Reunim grupurile la nivelul clasei și discutăm rezultatele colectate, formulând întrebări precum: „Ce ați observat la căderea bilei?”, „Cum ați caracteriza mișcarea bilei?”, „Ce legătură ați observat între timpul de cădere și distanța parcursă de bilă?” Răspunzând la aceste întrebări elevii încep să-și construiască înțelegerea conceptuală.

Explicarea este faza când elevii formulează explicațiile lor, iar profesorul ajustează aceste explicații până la explicații științifice. Este faza discuțiilor în cadrul cărora se consolidează înțelegerea conceptuală, care a prins contur în faza anterioară; în faza explicării se formează

vocabularul științific al elevilor. Explicarea va fi organizată astfel ca să nu se uite de întrebările din fazele anterioare ale implicării și explorării. Adică permanent se urmăresc obiectivele cognitive ale lecției. Aici se manifestă cel mai clar rolul profesorului ca facilitator al învățării.

Exemplu de activitate „Construirea unei definiții de mișcare uniform accelerată”.

- 1) Pornim discuția prin întrebări care fac trimitere la observațiile din activitatea „Studiarea căderii libere a unei bile de hârtie”. De exemplu: „Cum se schimbă viteza bilei de hârtie în timpul căderii?”, „Cum depinde timpul căderii de înălțimea de la care corpul?”
- 2) Conducem discuția astfel încât să ajungem la concluzia că la mișcarea uniform accelerată viteza se schimbă constant în timp.
- 3) Provocăm elevii să formuleze definiția mișcării uniform accelerate: „Mișcarea uniform accelerată este o mișcare în care obiectul se deplasează cu o accelerație constantă, ceea ce înseamnă că viteza sa crește sau scade cu aceeași mărime în fiecare unitate de timp.”
- 4) Propunem elevilor să ofere exemple suplimentare pentru a clarifica conceptul de mișcare uniform accelerată, cum ar fi un automobil care accelerează într-o linie dreaptă sau o piatră aruncată în sus și apoi căzând înapoi pe pământ.
- 5) Desfășurăm o scurtă activitate interactivă în care elevii să calculeze accelerația și viteza unui obiect în funcție de datele despre înălțimea și timpul căderii libere.

În acest fel, la faza explicării, prin rezolvarea problemelor practice, elevii formulează definițiile principale, deduc formulele de bază și își formează înțelegerea conceptuală.

Elaborarea: elevii extind și aplică conceptele nou formate la contexte mai complexe.

Exemplu de activitate „Analiza graficelor mișcării uniform accelerate”.

- 1) Distribuim elevilor o serie de grafice care reprezintă mișcarea uniform accelerată.
- 2) Cerem elevilor să analizeze graficele și să răspundă la întrebări precum: „Cum se schimbă viteza în funcție de timp în aceste grafice?”, „Cum puteți determina accelerația din grafic?”, „Care sunt caracteristicile mișcării uniform accelerate reieșind din aceste grafice?”
- 3) Propunem mai multe scenarii pentru analiză, situații în care obiectul accelerează sau încetinește.
- 4) Solicităm elevilor să identifice relațiile între mărimile de pe grafice și care sunt variabilele independente și dependente.
- 5) Organizăm activitatea pe grupuri de elevi; aceștia analizează diferențele și similitudinile între graficele prezentate, identifică și formulează conceptele-cheie asociate mișcării uniform accelerate.

Astfel, în faza elaborării, prin analizarea diferitor scenarii, elevii înțeleg conceptele-cheie și își dezvoltă abilități de analiză și gândire critică.

Evaluarea: profesorul urmărește progresul elevilor în termeni de înțelegere conceptuală, deprinderi de învățare prin cercetare, aptitudini de formulare și atingere a obiectivelor cognitive (țin mai mult de metacogniție). Scopul acestei faze este să permită elevilor să-și demonstreze înțelegerea conceptuală prin rezolvarea de probleme complexe și aplicarea cunoștințelor dobândite în situații noi.

Exemplu de activitate „Probleme de mișcare uniform accelerată în viața reală” pentru faza de evaluare.

- 1) Furnizăm elevilor o serie de scenarii din viața reală sub forma de probleme complexe la tema mișcarea uniform accelerată.
- 2) Cerem elevilor să transpună fiecare scenariu în enunț de problemă în termeni de ce este cunoscut și ce se cere de aflat, cum ar fi: „Calculați accelerația mașinii pe baza vitezei inițiale și timp”, „Determinați distanța parcursă de o piatră aruncată în sus în funcție de timpul de cădere”, „Analizați cât timp va dura ca un obiect să ajungă la o anumită viteză dată, având o accelerație constantă”.
- 3) Încurajăm elevii să explice pașii necesari pentru a rezolva fiecare problemă și să folosească formulele și conceptele învățate în explicația lor.
- 4) Organizăm discuții în grup pentru a analiza fiecare problemă.
- 5) Solicităm elevilor din fiecare grup să formuleze, la nivelul întregii clase, soluțiile găsite de grupul lor. Prin evaluare formativă digitală, ne asigurăm că majoritatea elevilor înțeleg și pot efectua pașii pentru rezolvarea problemelor.

2.2 Modele didactice constructiviste în predarea fizicii

2.2.1 Modelul clasei inversate ca strategie constructivistă de organizare a învățării

Predarea fizicii în școală reprezintă o provocare constantă, întrucât elevii întâmpină frecvent dificultăți în înțelegerea conceptelor abstracte și complexe ale acestei discipline [29]. Pentru a depăși aceste obstacole și a stimula implicarea activă a elevilor, a fost introdus modelul Clasei Inversate (vezi Anexa 8) care este o strategie alternativă de reorganizare a structurii lecției, plasând studiul individual al noțiunilor teoretice (prin vizionarea lecțiilor video și/sau analiza materialelor scrise) înaintea orelor de curs. În acest fel, timpul din clasă este valorificat pentru activități aplicative, discuții și experimente [2]. Această abordare sprijină principiile constructiviste, accentuând rolul activ al elevului în procesul de învățare, prin explorare, colaborare și rezolvarea de probleme [87; 112]. Prin implicarea în activități de investigație și exerciții adaptate nivelului individual, elevii devin mai responsabili și motivați, ceea ce contribuie la o mai bună înțelegere și consolidare a conceptelor din fizică.

În continuare analizăm modelul clasei inversate și eficiența acestuia asupra învățării elevilor în comparație cu metodele tradiționale de predare [77], pe baza experimentului pedagogic desfășurat în cl. a 7-a liceul Hyperion din municipiul Chișinău [209].

Aplicarea modelului clasei inversate presupune respectarea unor principii constructiviste, dintre care menționăm:

Pregătirea prealabilă a elevilor pentru lecție. Elevii studiază materialele pregătite de profesor, precum manuale, videoclipuri sau prezentări, ori desfășoară activități exploratorii preliminare. Este important de menționat că și alte metode didactice, precum Instruirea Mutuală (Peer Instruction), propusă de profesorul american Eric Mazur, presupun ca elevii să vină la lecție cu o bază minimă de cunoștințe [137]. În figura 2.1 este prezentată ideea de bază a metodei Clasa Inversată, care pune accentul pe familiarizarea prealabilă a elevilor cu subiectul lecției următoare. Această familiarizare are loc într-un cadru extrașcolar și constă în analiza diferitor materiale didactice: manualul sau secvențe video de pe platforma educație interactivă <https://educatieinteractiva.md/>.

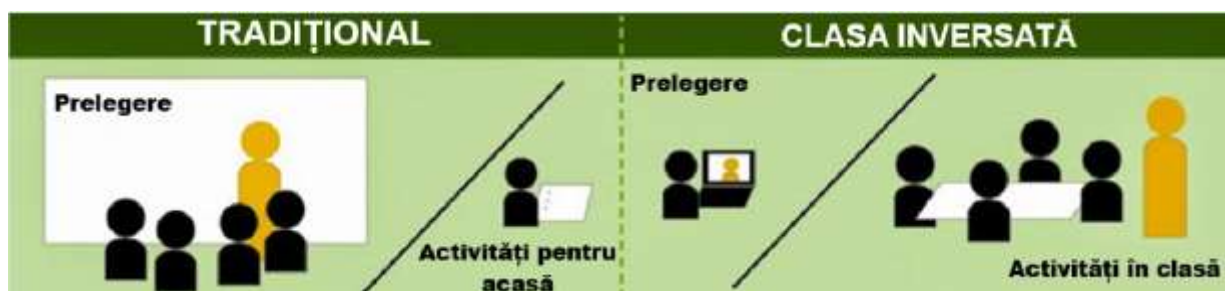


Fig. 2.1. Modelul metodei Clasa Inversată.

Diferențele dintre acțiunile profesorului și ale elevilor în cazul modului tradițional de predare și a Clasei Inversate sunt arătate în figura 2.2 folosind piramida taxonomiei lui Bloom.

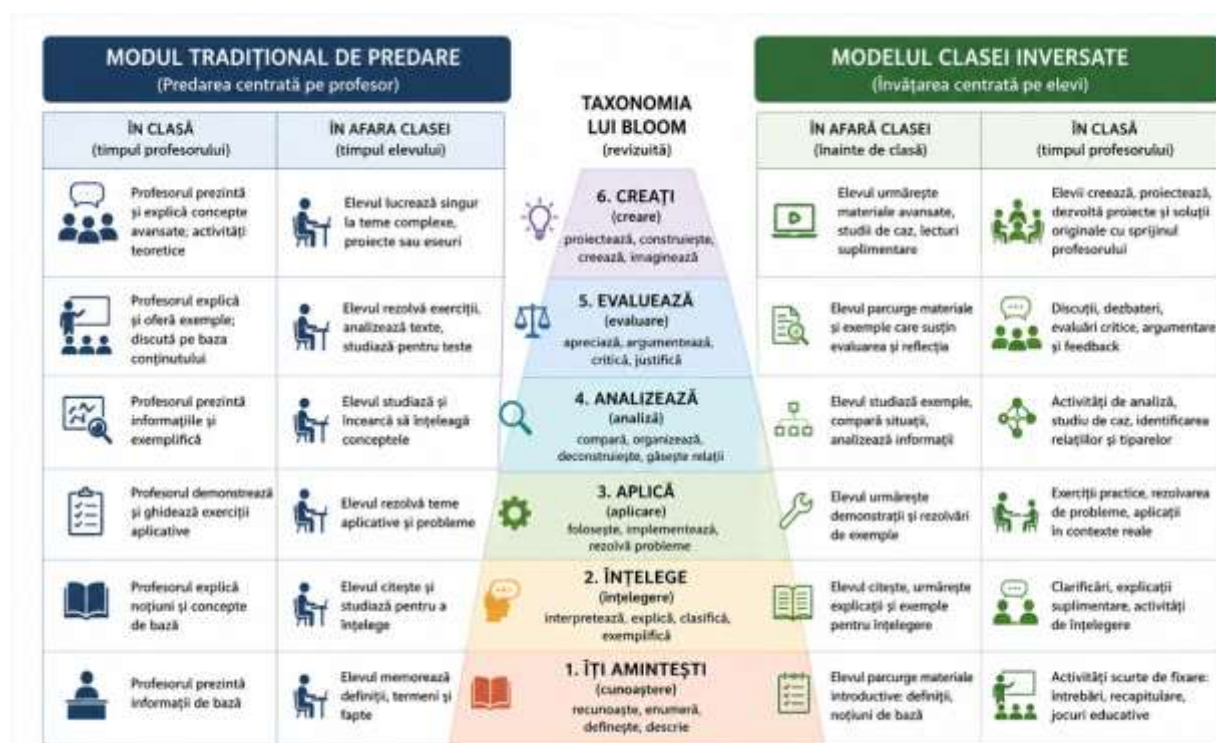


Fig. 2.2. Compararea modului tradițional de predare cu modelul Clasei Inversate pe baza taxonomiei lui Bloom.

Interacțiune intensă între elevi și între elevi și profesor. Deoarece elevii sunt deja familiarizați cu subiectul lecției, timpul din clasă este utilizat în principal pentru analiza situațiilor-problemă, discuții, activități practice și rezolvarea de exerciții în grup, sub îndrumarea profesorului. În acest sens, Clasa Inversată poate fi considerată o formă de Învățare a științelor prin metoda cercetării (ISMC) [40].

Învățarea personalizată. Elevii studiază în ritmul propriu înainte de lecție materialele recomandate de profesor. Astfel, metoda pune un accent real pe efortul cognitiv al elevului, ceea ce o apropie de Învățarea problematizată, o strategie care, aplicată sistematic, contribuie la dezvoltarea gândirii critice, a metacogniției și a competențelor de învățare pe tot parcursul vieții [22].

Dezvoltarea gândirii critice prin aplicarea practică a conceptelor. În cadrul lecției, elevii nu doar reproduc informațiile studiate acasă, ci sunt încurajați să analizeze, să coreleze și să aplice conceptele teoretice în contexte variate. Acest proces facilitează formarea gândirii critice și a abilităților analitice, apropiindu-se astfel de Învățarea reflexivă, care pune accent pe autoevaluarea constantă a elevilor [84].

Utilizarea tehnologiei digitale. Tehnologia joacă un rol esențial atât în pregătirea și livrarea conținutului didactic în avans, cât și în facilitarea interacțiunilor din clasă. Modelul Clasei Inversate poate fi aplicat atât în medii de învățare fizice, cât și în contexte online, fie sincron, fie

asincron. Implementarea eficientă a acestei metode necesită utilizarea unor platforme de colaborare, resurse digitale interactive, videoclipuri scurte și sisteme de evaluare online și offline, care să asigure feedback instantaneu în cadrul evaluării formative, precum și analiza rezultatelor evaluărilor sumative. Cu toate acestea, merită subliniat că utilizarea instrumentelor digitale, în sine, nu garantează succesul academic al elevilor, impactul acestora depinzând de modul în care sunt integrate în procesul educațional [6].

Prin faptul că elevii înainte de curs lucrează asupra materialelor, care sunt în mare parte prelegeri înregistrate video, profesorii pot dedica timpul din clasă pentru a ghida elevii prin activități practice, discuții și analiza prin colaborare a situațiilor de problem [2]. Această schimbare în structura și desfășurarea tradițională a lecției s-a dovedit a fi eficientă în învățarea fizicii, deoarece permite elevilor să se pregătească mai bine pentru activitățile din clasă și să dezvolte o înțelegere mai profundă a materialului [118; 122; 125]. Aceste metode contribuie la crearea unui mediu educațional interactiv, în care elevii devin participanți activi în procesul de învățare, dezvoltând abilități critice și reflexive esențiale pentru succesul lor academic și profesional.

Un studiu privind aplicarea modelului Clasei Inversate într-un curs introductiv de fizică, realizat de cercetători de la University of British Columbia din Vancouver, a evidențiat că elevii din grupul experimental, unde s-a implementat această metodă, au obținut scoruri semnificativ mai mari la testele de evaluare conceptuală, comparativ cu cei din grupul de control care a urmat o predare tradițională [70]. De asemenea, aplicarea acestei metode a fost corelată cu o prezență mai ridicată la cursuri și un interes sporit pentru subiect, datorită implicării mai active a elevilor în procesul de învățare [170].

Pe lângă Clasa Inversată, alte metode de predare constructivistă, cum ar fi Pedagogia Implicării (Engaged Pedagogy), au demonstrat beneficii similare în predarea fizicii. Pedagogia Implicării se bazează pe utilizarea activităților interactive și prin colaborare, care sprijină dezvoltarea gândirii critice și a abilităților de rezolvare a problemelor. Studiile sugerează că, la fel ca în cazul Clasei Inversate, această metodă poate contribui la îmbunătățirea performanței academice a elevilor și la formarea unei atitudini mai pozitive față de fizică [201].

Subliniem că deși abordările constructiviste, inclusiv Clasa Inversată, și-au dovedit eficiența în predarea fizicii, succesul acestora depinde în mare măsură atât de gradul de implicare a elevilor, cât și de competențele pedagogice ale profesorului [111]. Prin urmare, este esențial ca profesorii să se asigure constant că elevii sunt pregătiți adecvat pentru activitățile desfășurate în clasă și că materialele oferite pentru studiul individual sunt accesibile, relevante și captivante.

2.2.2 *Aplicarea modelului Clasei Inversate la predarea temei “Echilibrul de rotație”*

În raport cu alte strategii constructiviste analizate anterior, mărimea efectului Clasei Inversate asupra succesului academic al elevilor este mai redus. Conform teoriei IPV formulate de profesorul neozeelandez John Hattie [104], mărimea efectului Clasei Inversate este de 0,5, în timp ce alte metode precum Învățarea Reflexivă au mărimea efectului egală cu 1,29, Învățarea Problematizată – 0,68, Instruirea Mutuală – 0,74, iar utilizarea resurselor digitale sau online – 0,29. Pentru a contextualiza aceste cifre, merită menționat că un profesor cu experiență care aplică timp de doi ani consecutivi metoda convențională de instruire frontală obține, în medie, o mărime a efectului de aproximativ 0,40, valoare considerată moderată în literatura de specialitate și asociată cu o îmbunătățire semnificativă a performanțelor elevilor.

Obiectivele acestui experiment pedagogic au fost:

- compararea efectului modelului Clasei Inversate cu cel al metodei tradiționale asupra reușitei academice a elevilor;
- corelarea rezultatelor cercetării cu datele obținute în studii anterioare;
- implementarea modelului Clasei Inversate și identificarea strategiilor optime pentru planificarea unei lecții sau a unui set de lecții bazate pe această metodă;
- pregătirea elevilor pentru utilizarea metodelor constructiviste de predare, care pun accent pe efortul cognitiv individual, în vederea unor cercetări ulterioare.

Având în vedere aceste obiective putem formula ipotezele experimentului:

H_0 – ipoteza nulă: nu există diferențe semnificative între rezultatele testelor post-experiment ale elevilor instruiți prin modelul Clasei Inversate și cele ale elevilor instruiți prin metoda convențională.

H_1 – ipoteza alternativă: există diferențe semnificative între rezultatele testelor post-experiment ale celor două grupuri.

Experimentul s-a desfășurat în anul școlar 2022–2023 la Liceul Teoretic „Hyperion” din orașul Durlești, municipiul Chișinău, Republica Moldova (vezi Anexa 9.a). Cercetarea a implicat două clase de a VII-a:

Grupul experimental: clasa a VII-a B, formată din 35 de elevi (21 fete, 14 băieți). La evaluarea pre-test au participat 33 de elevi, iar la evaluarea post-test – 32 de elevi.

Grupul de control: clasa a VII-a C, alcătuită din 36 de elevi (18 fete, 18 băieți). La evaluarea pre-test au participat 32 de elevi, iar la evaluarea post-test – 34 de elevi.

În clasa experimentală, predarea s-a desfășurat conform modelului Clasei Inversate, în timp ce în clasa de control s-a aplicat metoda tradițională a predării frontale. Experimentul a fost derulat

pe parcursul studierii Capitolului V, „Echilibrul de rotație” din programa de fizică pentru clasa a VII-a [29].

Conform curriculei [67], acest capitol include studiul mecanismelor simple precum pârghia, scripetele și planul înclinat. În cadrul acestei unități, elevii efectuează o lucrare de laborator intitulată „Determinarea lucrului forței active, lucrului forței rezistente, compararea valorilor obținute”. Pentru parcurgerea conținuturilor sunt alocate 9 ore academice, echivalentul a 4,5 săptămâni de curs.

În conformitate cu principiile învățării prin colaborare, clasa experimentală a fost organizată în 6 grupuri de câte 5-6 elevi, în timp ce clasa de control a urmat structura obișnuită a predării frontale, fără împărțirea în grupuri.

Elevii din clasa experimentală au studiat partea teoretică înainte de lecție, utilizând manualul și lecția video de pe platforma <https://educatieonline.md>. Videoclipul, cu o durată de aproximativ 15 minute, include două probleme rezolvate, pe care elevii le analizau și le transcriau în caietele lor. De asemenea, aceștia răspundeau la întrebările din secțiunea „Verifică-ți cunoștințele” de la sfârșitul fiecărei teme.

În clasa de control, lecțiile au fost structurate în conformitate cu etapele predării tradiționale: evocarea, realizarea sensului, reflecția și extinderea.

În clasa experimentală, realizarea sensului s-a desfășurat prin analiza situațiilor-problemă sub îndrumarea profesorului, elevii fiind activ implicați în procesul de învățare.

La finalul studierii capitolului „Echilibrul de rotație”, s-a organizat o evaluare sumativă sub forma unei lucrări de control cu șase itemi, pentru care s-au alocat 45 de minute (vezi Anexa 9.b). Rezultatele acestei lucrări constituie testul post-experiment.

Pentru a măsura progresul academic al elevilor, testul pre-experiment a fost reprezentat de rezultatele obținute la lucrarea de control finală aferentă Capitolului III, „Statica fluidelor”, care include aproximativ 13 ore de studiu.

În clasa experimentală, aplicarea modelului Clasei Inversate a condus la o creștere semnificativă a calității academice, cu 78,3%, și a notei medii, cu 6,2%, concomitent cu deplasarea medianei și a modulului de la valoarea „7” la valoarea „8”. În clasa de control, unde s-a aplicat metoda tradițională de predare frontală, calitatea academică a înregistrat o creștere mai redusă, de 64,7%, iar nota medie a crescut cu doar 5,0%, mediana menținându-se la valoarea „7”, iar modulul coborând la „6”. Comparativ, efectul metodei experimentale asupra calității academice a fost cu 21,0% mai mare decât cel al predării convenționale, iar asupra notei medii — cu 24,3% mai mare (vezi Tabelul 2.1).

Pentru a evalua mărimea efectului metodei Clasa Inversată, aplicată în acest experiment, s-a calculat Cohen's d pe baza scorurilor de progres individual ($\text{gain} = \text{post-test} - \text{pre-test}$) ale celor două grupuri. Valoarea obținută, $d \approx 0,49$, se încadrează, conform pragurilor lui Cohen, în categoria unui efect mediu. Această valoare corespunde cu $d = 0,50$, raportat de John Hattie (2018) în meta-analiza *Visible Learning* pentru metoda Clasei Inversate (*Flipped Classroom*), validând independent, prin datele noastre proprii, dimensiunea efectului consemnată în literatura de specialitate internațională.

Tabelul 2.1. Distribuția notelor în clasa experimentală și în clasa de control cu mărimea efectului

	Clasa de control		Clasa experimentală	
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
Nr. elevi	32	34	33	32
Nota medie	7,0	7,35	7,24	7,69
Mediana	7,0	7,0	7,0	8,0
Modul	7,0	6,0	7,0	8,0
Reușita, %	100	100	100	100
Calitatea, %	25,0	41,18	33,3	59,38
Progres mediu	0,19		0,53	
Abaterea standard	0,54		0,84	
Abaterea standard combinată	0,71			
Cohen's d	0.49			

Diagrama din figura 2.3 arată saltul calitativ în ce privește succesul academic al elevilor în clasa experimentală și cea de control. Dacă la pre-test în clasa experimentală majoritatea elevilor aveau notele 6 și 7, la post-test majoritatea elevilor au note de 8-9-10.

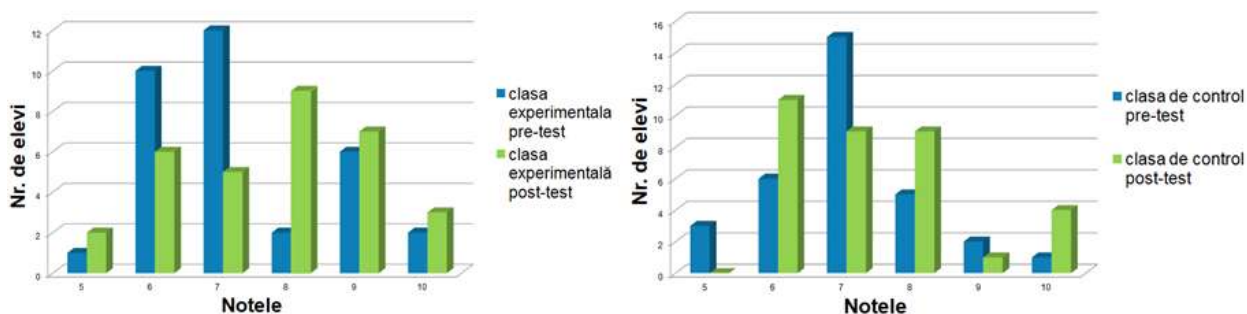


Fig. 2.3. Analiza comparativă a notelor pre-test și post-test din clasa experimentală și de control.

2.3 Aplicarea strategiilor constructiviste în predarea capitolului „Interacțiuni” în clasa a VII-a

2.3.1 Analiza comparativă a strategiilor constructiviste de predare

În cadrul predării constructiviste a fizicii, metodele didactice nu reprezintă simple tehnici de organizare a activității la clasă, ci forme distincte de structurare a acțiunii cognitive a elevilor. Fiecare strategie constructivistă, fie că este vorba despre învățarea pe bază de proiect, învățarea prin cercetare sau învățarea și predarea vizibilă, propune un mod specific de organizare a interacțiunii dintre elev, conținut și sarcina de învățare. În acest context, analiza comparativă a acestor strategii devine necesară pentru a evidenția mecanismele prin care ele susțin construirea cunoașterii, precum și diferențele privind rolul profesorului și gradul de implicare cognitivă a elevilor.

O delimitare mai cuprinzătoare a constructivismului ar fi cea între constructivismul social și cel din educație. În timp ce Piaget [164] prezintă dezvoltarea ca pe o construcție internă a subiectului, apărută în interacțiunea cu obiectele, Vîgotski [196] subliniază rolul interacțiunii sociale în cadrul acestei dezvoltări, considerând că practicile sociale specifice unei anumite perioade, achizițiile colective de ordin intelectual și material, științific și artistic, precum și istoria trăită de individ îi determină dezvoltarea.

Constructivismul social scoate în evidență dimensiunea socială a actului de cunoaștere, mizând pe limbaj și pe factorii culturali; totodată, el subliniază importanța legăturilor dintre indivizi în procesul de transmitere și de creare a conținuturilor educaționale (formarea cognitivă a individului are loc în situații de interacțiune, unde copilul și adultul întreprind laolaltă o activitate).

Centrarea pe elev, învățarea activă, problematizarea și valorificarea oportunităților sunt elemente ale modelului constructivist în educație, dar nu constituie încă integralitatea educației constructiviste. Complexitatea contextului actual pune în fața educației probleme serioase de reconcepere și realizare, încât vocile care vorbesc despre o „stare critică a pedagogiei” sau despre „criza pedagogiei” par a fi îndreptățite, iar soluțiile nu întârzie să apară. Una dintre acestea ar fi abordarea constructivistă a educației, corelată cu viziunea postmodernistă asupra pedagogiei, ca o altă paradigmă ce câștigă teren, nu numai în plan pedagogic, ci și în cel cultural și social.

În acest paragraf vom efectua o analiză comparativă a unui set de abordări didactice constructiviste în vederea aplicării lor practice la lecția de fizică pe exemplul predării capitolului *Interacțiuni* în clasa a VII [46]. Scopul cercetării este de a identifica atât momentele comune cât și diferențele ce țin de acțiunea didactică a profesorului și acțiunea cognitivă a elevilor în cadrul a trei abordări constructiviste distincte: a) învățarea pe bază de proiect; b) ISMC; c) IPV.

Învățarea pe bază de proiect. Pentru cursul de fizică din clasa a VII sunt alocate 2 ore pe săptămână sau 68 ore/an. Dacă aceste ore sunt distribuite proporțional volumului unităților de conținut de la fiecare capitol, atunci capitolului „Interacțiuni” îi revin cca 16 ore, din care 15 ore pentru desfășurarea a patru proiecte și o oră pentru evaluare.

Proiectul 1	Forța ca vector	5 ore
Proiectul 2	Forța de greutate	4 ore
Proiectul 3	Forța elastică	3 ore
Proiectul 4	Forța de frecare	3 ore.

Abordarea pe bază de proiect impune aplicarea conceptului de matrice logică a proiectului. În Tab. 2.2 este prezentat un exemplu de astfel de matrice pentru proiectul „Forța de greutate” din capitolul „Interacțiuni”. Obiectivele corespund unităților de competență, resursele descriu materialele didactice, instrumentele didactice și echipamentul necesar, activitățile sunt structurate în activități didactice ale profesorului și cele cognitive ale elevilor, rezultatele corelează puternic cu obiectivele și descriu rezultatele materiale ale efortului cognitiv al elevilor, impactul descrie influența proiectului didactic asupra competențelor cheie (impact pe termen mediu) și asupra competențelor de învățare pe tot parcursul vieții (impact pe termen lung).

Tabelul 2.2. Matricea logică la proiectul didactic *Forța de greutate* din capitolul *Interacțiuni, fizică, clasa VII.*

Obiective	- Elevii cunosc definiția și caracteristicile forței de greutate, a ponderii și a accelerației gravitaționale. - Elevii știu să măsoare forța de greutate cu ajutorul dinamometrului. - Elevii înțeleg relațiile matematice între mărimile studiate și le pot aplica la rezolvarea problemelor.
Resurse	Manualul, soft didactic de tipul MozaBook Classroom, soft didactic pentru laborator de fizică virtual de tipul Roqed Physcs Lab, echipament demonstrativ (pentru profesor) la tema Forța de greutate, echipament de laborator (pentru elevi) la temă, sistem de evaluare digitală offline, tablă sau panou interactiv.
Activități	- Didactice: Formarea ideilor proprii ale elevilor, susținerea cercetării elevilor în cadrul lucrărilor de laborator, ghidarea elevilor în procesul de analiză, evaluarea formativă și a proiectelor de grup. - Cognitive: Cercetarea în cadrul lucrării de laborator, cercetarea individuală, participarea în dezbaterile colective a rezultatelor.
Rezultate	Raportul grupului de elevi în urma lucrării de laborator, raportul individual al elevului, rezultatele testărilor formative, seturi de probleme rezolvate individual.
Impact	- Impactul asupra formării competențelor cheie - Impactul asupra competențelor de învățare pe tot parcursul vieții

Învățarea prin metoda cercetării. ISMC de asemenea are caracterul unei învățări pe bază de proiect: deoarece ciclurile ISMC, bazate pe conceptul ideilor mari, sunt în esență proiecte de

cercetare structurate în cinci etape: întrebare, ipoteză, experiment, elaborarea și aplicarea modelului, prezentarea și dezbaterile rezultatelor [41]. Dar, spre deosebire de învățarea pe bază de proiect, proiectele ISMC au câteva trăsături specifice:

- Elevului i se acordă un grad sporit de libertate în învățare, punându-se accentul pe efortul cognitiv al elevului. Acest lucru conduce la formarea și consolidarea competențelor de cercetare, iar în final la competențele de învățare pe tot parcursul vieții.
- În cadrul cercetării în grup se formează deprinderile de interacțiune socială și cele de comunicare ale elevilor, care au un impact deosebit asupra dezvoltării personale și profesionale mult timp după absolvirea școlii.
- Elevul vorbește mai mult decât în cadrul altor metode constructiviste de predare, deoarece el discută la nivel de grup și clasă despre modelul cercetării, prezintă rezultatele cercetării, împreună cu colegii și profesorul discută și analizează rapoartele de grup. În acest mod se formează și se consolidează vocabularul științific activ al elevilor – un câștig esențial pentru orice persoană în era cunoașterii.
- Legătura inversă elev – profesor are un caracter bidirecțional mai pronunțat datorită necesității ghidării și monitorizării permanente a activității de cercetare a elevilor.

Un alt moment care deosebește esențial abordarea ISMC de învățarea bazată pe proiect este aplicarea permanentă. Învățarea bazată pe proiect poate fi aplicat și sporadic, doar la unele teme, pe când ISMC necesită aplicare permanentă, de la o vârstă cât mai timpurie. Astfel se obține impactul ISMC. Aplicarea sporadică, de fațadă, a ISMC doar debusolează elevii [100]. De asemenea, spre deosebire de învățarea bazată pe proiect, ISMC necesită încă trei momente majore:

- a) elaborarea curriculumului conform conceptului ideilor științifice mari și modernizarea ei.
- b) pedagogie bazată pe sinergia între instrumente didactice digitale și constructivism;
- c) organizarea evaluării competențelor de învățare.

În Tabelul 2.3 este prezentată matricea logică a proiectului organizat în stil IBSE la aceeași temă *Forța de greutate*.

Tabelul 2.3. Matricea logică la proiectul IBSE *Forța de greutate* din capitolul *Interacțiuni, fizică, clasa VII*.

Obiective	• Înțelegerea noțiunilor de masă, forță de greutate, accelerație gravitațională. • Formarea competențelor de reprezentare a forțelor ca mărimi vectoriale, de efectuare a operațiilor cu vectori. • Consolidarea deprinderilor de preluare, prelucrare și analiză a datelor experimentale.
Resurse	Manualul, soft didactic de tipul MozaBook Classroom, soft didactic pentru laborator de fizică virtual de tipul Roged Physcs Lab, echipament demonstrativ (pentru

	profesor) la tema Forța de greutate, echipament de laborator (pentru elevi) la temă, sistem de evaluare digitală offline, tablă sau panou interactiv.
Activități	• Întrebarea inițială de genul „Ce se va întâmpla cu mișcarea unui corp dacă nu există forță de greutate?” • Emiterea ipotezei și propunerea experimentului de către elevi. • Ghidarea și monitorizarea experimentului efectuat în grup. • Elaborarea modelului unic, analiza datelor obținute de diferite grupuri. • Aplicarea cunoștințelor noi la situații de problemă.
Rezultate	Raportul grupului de elevi în urma lucrării de laborator, raportul individual al elevului, rezultatele testărilor formative, seturi de probleme rezolvate individual.
Impact	• Formarea competențelor de analiză și raționament • Formarea vocabularului științific activ • Formarea competențelor de colectare a informației • Formarea competențelor de comunicare.

Învățarea și predarea vizibilă. Esența teoriei IPV poate fi redată în felul următor: predarea – învățarea trebuie să fie așa încât în orice moment al lecției profesorul știe ce a înțeles elevul din discursul său, iar elevul știe și înțelege care sunt obiectivele didactice ale lecției. Ideal ar fi ca ele să devină chiar obiectivele lui cognitive. Pentru a obține aceasta e necesar de un grad mai înalt al legăturii inverse elev – profesor sau feedback. Conform IPV [102], cele mai puternice strategii didactice se bazează pe trei componente:

- Înțelegerea conceptuală profundă determinată de calitatea înaltă a predării, în stil de cercetare IBSE.
- Crearea unei atmosfere de empatie multilaterală în clasă care asigură un climat lucrativ și ajută la setarea obiectivelor cognitive înalte pentru clasa întreagă.
- Menținerea unor așteptări ridicate din partea profesorului față de elevi, care stimulează efortul cognitiv esențial. Putem afirma: așteptările joase determină rezultatele joase. Este esența pedagogiei colaborării. Conform IPV asumarea corectă, apriorică, de către profesor a potențialului cognitiv al elevului (sau a unui grup de elevi) are cel mai mare factor de impact asupra succesului academic al elevului – de patru ori mai mare decât o strategie de predare obișnuită, convențională, frontală.

Trebuie să menționăm că IPV nu necesită neapărat o formă a lecției în stil ISMC, obiectivele IPV pot fi atinse și de un profesor excepțional care predă în stil obișnuit, dar reușește să obțină feedback instantaneu și mutual cu orice elev din clasă. Conform rezultatelor măsurărilor în IPV, dacă reușim să obținem la fiecare lecție un astfel de feedback, creștem succesul academic al elevilor de trei ori față de predarea convențională, adică mărimea efectului pentru strategii de predare bazate pe feedback atinge valori de 1,2 în comparație cu 0,4 la predarea convențională [102] (vezi Anexa 1).

Reieșind din cele arătate despre IPV, putem trage concluzia că abordarea ISMC se încadrează în cerințele teoriei IPV:

- Discuțiile de la începutul proiectului ISMC în faza emiterii ipotezelor de lucru ajută la înțelegerea de către elevi a obiectivelor lor cognitive.
- Asumarea de către elevi a obiectivelor cognitive este esența oricărui demers didactic. Adică ar trebui să ne axăm mai mult pe transferul de obiective cognitive decât pe transferul de cunoștințe.
- ISMC folosește mai multe procedee didactice în cadrul aceleiași lecții. De exemplu aplicarea metodei instruirii mutuale la evaluarea formativă sau a învățării secvențiale, sau a instruirii diferențiate. Suprapunerea acestor procedee, fiecare din ele cu un factor de impact mai mare decât predarea convențională, are un efect de sinergie și transformă ISMC într-un caz particular al IPV.
- Un proiect ISMC se bazează pe cunoștințele și priceperile elevilor obținute în cadrul proiectelor anterioare. Aici avem, de fapt, folosirea recurentă a cunoștințelor. Pe lângă repetarea multiplă a materiei studiate, avantajul cel mai mare al acestei metode este că ea actualizează cunoștințele anterioare și contribuie la formarea viziunii științifice asupra lumii.
- De asemenea, subliniem că libertatea elevului de a alege modul de cercetare în ISMC este echivalentă cu asumarea, autogestionarea propriei învățări – cel mai mare factor de impact în IPV, când profesorul are rolul de asigurarea eșafodajului în cadrul proiectului de cercetare [95].

2.3.2 Proiectarea și realizarea lecției de fizică în model IBSE: studiul temei „Forța de greutate. Pondere”

Aplicarea metodelor constructiviste în procesul de predare a fizicii presupune o schimbare fundamentală de perspectivă: accentul se mută de la transmiterea cunoștințelor de către profesor la construirea activă a cunoașterii de către elevi. Astfel, în cadrul unei lecții constructiviste de fizică rolul profesorului este acela de ghid și facilitator al învățării. În acest scop profesorul creează situații de învățare stimulative, bazate pe descoperire, colaborare și reflecție. Vom ilustra modul în care principiile constructiviste pot fi aplicate eficient în predarea fizicii printr-un exemplu concret de lecție la tema *Forța de greutate. Pondere*, din capitolul *Interacțiuni*, clasa a VII-a.

La baza structurii lecției stă modelul ciclic de învățare prin metoda ISMC [41]. Lecția este compusă din etapele *Evocarea – Formularea ipotezelor – Verificarea ipotezelor – Discutarea rezultatelor – Reflecția*. Subliniem că această structurare este consonantă cu direcția metodologică promovată de Davidenko și Bocancea [69] în ghidul dedicat proiectelor STEM/STEAM la fizică, care recomandă organizarea lecției de fizică pe etape de investigație explicită, cu roluri clar diferențiate pentru profesor și elevi.

Etapă 1. Evocarea și formularea întrebării-problemă. De la începutul lecției elevii sunt împărțiți în grupuri de cercetare de 4–5 persoane. Ora începe cu o conversație liberă menită să actualizeze cunoștințele anterioare ale elevilor despre mișcare și interacțiuni. De exemplu, profesorul pune întrebarea „Ce se întâmplă cu un obiect atunci când îl lăsăm să cadă din mână?” Elevii oferă răspunsuri variate: „cade pe jos”, „este atras de Pământ”, „greutatea îl trage în jos” etc. Pornind de la aceste răspunsuri, profesorul adresează întrebarea-problemă centrală „Ce s-ar întâmpla dacă nu ar exista forța de greutate?” Această întrebare trezește curiozitatea elevilor, îi determină să formuleze ipoteze și să își exprime propriile concepții despre lume. Astfel, la această etapă inițială a lecției constructiviste de fizică profesorul va evita să formuleze definiții dar le va oferi elevilor oportunitatea discuțiilor la subiectul lecției. Menționăm că pentru a dirija discuțiile din clasă vom organiza lucrul în grup al elevilor. Subliniem că majoritatea metodelor constructiviste de predare se bazează pe lucrul în grup [42].

Etapă 2. Formularea ipotezelor. După ce elevii au dat răspunsuri diverse la întrebarea din evocare demarează etapa formulării ipotezelor și planificării cercetării la nivel de grup. Astfel, fiecare grup discută și formulează o ipoteză de lucru, de exemplu:

- „Forța de greutate depinde de masa corpului.”
- „Dacă un corp este mai greu, forța cu care este atras spre Pământ este mai mare.”
- „Toate corpurile cad la fel, indiferent de masă.”

Profesorul notează toate ipotezele elevilor pe tablă, fiecare ipoteză se discută la nivel de grup și clasă. Profesorul urmărește discuțiile elevilor și îi ghidează spre clarificarea termenilor. Această etapă contribuie la dezvoltarea competențelor de gândire critică și de comunicare științifică, întrucât elevii trebuie să argumenteze logic propriile idei [179]. După analiza tuturor ipotezelor elevii le notează în caietele lor și la nivel de grup stabilesc modalitatea cum vor verifica ipoteza lor și echipamentul necesar.

Etapă 3. Experimentul și verificarea ipotezelor. Fiecare grup primește echipamentul de laborator: un dinamometru, un set de greutăți metalice, o riglă și o fișă de lucru. Elevii sunt invitați să verifice ipoteza grupului prin măsurarea forței de greutate a diferitelor corpuri și să noteze valorile obținute în tabelul din fișa de lucru. La această etapă profesorul are rolul de observator activ. El se deplasează între grupuri, adresează întrebări de ghidare de tipul:

- „Ce observi la valorile măsurate?”,
- „Cum ai putea verifica dacă ipoteza ta este corectă?”

Menționăm că profesorul nu oferă direct răspunsul la aceste întrebări. Elevii înregistrează datele în tabelul 2.4 și construiesc graficul variației forței de greutate $\vec{G}$ în funcție de masă m (Fig

2.4) și descoperă relația de proporționalitate directă dintre aceste două mărimi. În acest fel, conform principiului constructivismului, elevii descoperă singuri legea forței de greutate, adică relația $\vec{G} = m\vec{g}$, ceea ce conferă procesului de învățare un sens autentic și profund. De asemenea, elevii singuri ajung să înțeleagă deosebirea dintre forța de greutate $\vec{G}$ și pondere $\vec{P}$.

Tabelul 2.4. Măsurarea forței de greutate în funcție de masă

Nr. experimentului	Masa corpului m (kg)	Forța de greutate G (N)	Accelerația gravitațională g (N/kg)	Observații
1	0,100	1,0	10	1 greutate
2	0,200	2,0	10	2 greutate
3	0,300	3,0	10	3 greutate

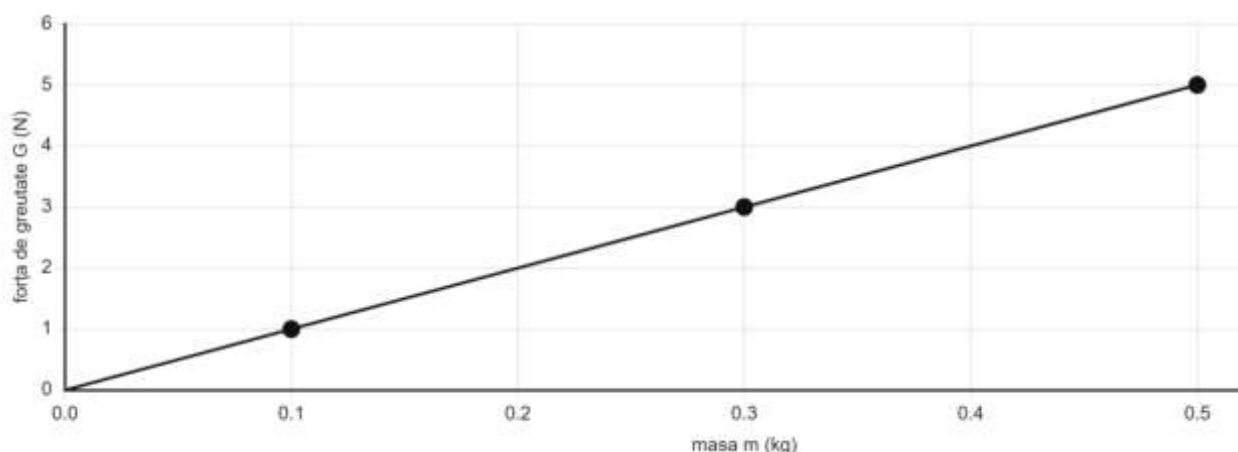


Fig. 2.4. Graficul variației forței de greutate $\vec{G}$ în funcție de masă m .

Etapă 4. Discutarea și interpretarea rezultatelor. După finalizarea experimentului, fiecare grup prezintă rezultatele cercetării în fața clasei. Un reprezentant explică modul de lucru, valorile obținute și concluzia grupului. Elevii sunt încurajați să adreseze întrebări colegilor, să compare graficele realizate și să identifice eventualele diferențe. Profesorul facilitează o discuție colectivă în care îi conduce pe elevi spre generalizare cu întrebări de tipul:

- „Care este deosebirea între forța de greutate și masa corpului?”
- „Care este deosebirea între forța de greutate și pondere?”
- „Putem spune că forța de greutate crește odată cu masa corpului?”
- „Care este valoarea constantă a accelerației gravitaționale pe Pământ?”

Astfel, prin dialog la nivel de grup și clasă, și reflecție colectivă elevii ajung la înțelegerea relațiilor între conceptele de bază ale temei: forță de greutate, pondere, masă, accelerație gravitațională.

Etapa 5. Reflecția și autoevaluarea. În etapa finală, profesorul le solicită elevilor să răspundă în scris la câteva întrebări metacognitive:

- Ce am învățat nou astăzi?
- Ce dificultăți am întâmpinat în timpul experimentului?
- Cum aș explica unui coleg ce este forța de greutate și care este deosebirea de pondere?

Tabelul 2.5. Acțiunile profesorului și elevilor în cadrul lecției constructiviste IBSE.

Etapa lecției	Acțiunile profesorului	Acțiunile elevilor
1. Evocarea și formularea întrebării-problemă	- Împarte elevii în grupuri de cercetare (4–5 elevi). - Inițiază discuția pentru activarea cunoștințelor anterioare despre mișcare și interacțiuni. - Adresează întrebări exploratorii (ex.: „Ce se întâmplă cu un obiect când îl lăsăm să cadă?”). - Formulează întrebarea-problemă centrală: „Ce s-ar întâmpla dacă nu ar exista forța de greutate?” - Evită definirea conceptelor; facilitează discuția. - Organizează și dirijează lucrul în grup.	- Participă la discuția de activare a cunoștințelor. - Oferă răspunsuri spontane, își exprimă ideile inițiale. - Analizează, discută și formulează concepțiile proprii. - Colaborează în cadrul grupului pentru a înțelege întrebarea-problemă.
2. Formularea ipotezelor	- Solicită fiecărui grup să formuleze o ipoteză de lucru. - Notează ipotezele elevilor pe tablă. - Ghidează discuțiile pentru clarificarea termenilor științifici. - Nu validează direct ipotezele, ci stimulează argumentarea. - Ajută elevii să stabilească planul de lucru și materialele necesare.	- Discută în grup și formulează o ipoteză (ex.: „Forța de greutate depinde de masa corpului”). - Argumentează logic ipoteza propusă. - Notează ipoteza în caiet. - Stabilește pașii cercetării și echipamentul necesar.
3. Verificarea ipotezelor și experimentul	- Oferă echipamentul: dinamometru, greutăți, riglă, fișă de lucru. - Observă activ procesul și adresează întrebări de ghidare: „Ce observi?”, „Cum verifici ipoteza?”. - Nu oferă răspunsul corect, ci facilitează descoperirea prin investigație. - Încurajează măsurarea corectă, colectarea datelor și reprezentarea grafică.	- Măsoară forța de greutate pentru diverse mase folosind dinamometrul. - Completează tabelul cu valori măsurate (Tabel 2.4). - Reprezintă grafic variația G în funcție de m (Fig. 2.4). - Identifică relația de proporționalitate directă $G = m \cdot g$. - Descoperă diferența dintre forța de greutate și pondere.

4. Discutarea și interpretarea rezultatelor	- Invită grupurile să prezinte rezultatele. - Facilitează dialogul dintre elevi și analiza comparațiilor dintre grafice. - Adresează întrebări de generalizare: „Care este diferența dintre masă și forța de greutate?”. - Ghidează procesul de formulare a concluziilor.	- Prezintă rezultatele obținute și modul de lucru. - Adresează și răspunde la întrebări colegilor. - Compară graficele și identifică diferențe. - Formulează concluzii științifice despre relațiile dintre concepte.
5. Reflecția și autoevaluarea	- Formulează întrebări metacognitive: „Ce am învățat?”, „Ce dificultăți am avut?”. - Colectează reflecțiile elevilor pentru evaluare formativă. - Oferă feedback individualizat.	- Răspund în scris la întrebări de reflecție. - Analizează ce au învățat și dificultățile întâmpinate. - Se autoevaluează privind implicarea și înțelegerea conceptelor.

În termeni de impact, metoda ISMC duce la formarea competențelor de analiză și raționament științific, la dezvoltarea vocabularului științific activ și la creșterea motivației pentru învățare. Elevii se simt implicați, apreciați și conștienți de progresul propriu.

Prin urmare, predarea constructivistă a temei *Forța de greutate* transformă lecția de fizică dintr-o simplă transmitere de cunoștințe într-o experiență de descoperire personală, unde fiecare elev devine cercetător al propriilor idei și participant activ la construcția sensului științific.

2.4 Concluzii la capitolul 2

Capitolul 2 analizează modul în care constructivismul se regăsește în lecția de fizică, atât la nivelul înțelegerii procesului de învățare, cât și al organizării activităților în teme precum „Mișcarea uniform accelerată”, „Echilibrul de rotație” și „Interacțiuni”: Din această analiză se desprind următoarele concluzii:

1. În cadrul constructivist învățarea fizicii se întemeiază pe formarea înțelegerii conceptuale, pe implicarea activă a elevului și pe rezistența structurilor cognitive la schimbare, acestea constituind reperele epistemice ale procesului de învățare.
2. Paradigma constructivistă reflectă caracterul multidimensional al cunoașterii, prin integrarea dimensiunilor conceptuală, procedurală și axiologică.
3. Orice strategie didactică constructivistă se întemeiază pe două condiții esențiale: profesorul ca facilitator al învățării și orientarea demersului didactic spre dezvoltarea competențelor de aplicare practică a cunoștințelor.

4. Metacogniția organizează și reglează acțiunile cognitive ale elevilor, prin procese de monitorizare și control al învățării în cadrul lecției constructiviste.
5. Integrarea strategiilor metacognitive în predarea constructivistă susține monitorizarea propriei învățări și dezvoltarea unei atitudini proactive a elevului față de activitatea cognitivă.
6. Cooperarea și interacțiunea între elevi contribuie la consolidarea înțelegerii conceptuale, definind caracterul colaborativ al învățării constructiviste.
7. Învățarea prin cercetare reprezintă una dintre principalele modalități de operaționalizare a constructivismului în predarea fizicii, deoarece implică elevul în formularea ipotezelor, investigarea fenomenelor și construirea explicațiilor.
8. Modelul constructivist de învățare se întemeiază pe participarea activă a elevilor, valorificarea cunoștințelor anterioare, dezbateri, utilizarea întrebărilor stimulative și restructurarea concepțiilor preexistente.
9. Modelul 5E asigură organizarea progresivă a învățării, prin articularea etapelor didactice cu procesele de construire și restructurare conceptuală.
10. Strategiile precum ISMC, învățarea prin colaborare, învățarea problematizată, învățarea prin explorare, metoda hărților conceptuale, învățarea pe bază de proiect și învățarea reflexivă derivă din aceeași logică constructivistă a construirii active a cunoașterii.
11. Modelul Clasei Inversate ridică nivelul cognitiv al acțiunilor elevilor, prin transferul activităților de nivel inferior în afara clasei și orientarea timpului de clasă spre analiză, aplicare și evaluare.
12. Experimentul pedagogic desfășurat în clasele a VII-a la studierea capitolului „Echilibrul de rotație” evidențiază un progres academic mai mare în grupul în care a fost aplicată Clasa Inversată decât în grupul de control, mărimea efectului calculată pe baza progresului individual fiind moderată (Cohen's $d = 0,49$).
13. Pe exemplul predării capitolului „Interacțiuni”, analiza evidențiază că nivelul autonomiei elevului, gradul de structurare a demersului și rolul feedbackului diferențiază învățarea pe bază de proiect, învățarea prin metoda cercetării și învățarea și predarea vizibilă, configurând forme distincte de implicare cognitivă și de construire a cunoașterii.
14. Modelul ciclic ISMC este operaționalizat în predarea temei „Forța de greutate. Ponderea” prin corelarea explicită a acțiunilor profesorului și ale elevilor pe etapele lecției, evidențiind mecanismul prin care conceptele sunt construite prin formularea și verificarea ipotezelor.

Astfel, în lecția de fizică, construirea cunoașterii se realizează prin implicarea activă a elevului, prin învățarea prin cercetare și prin reglarea metacognitivă a învățării. Această dinamică este susținută de rolul profesorului ca facilitator, de interacțiunea dintre elevi și de integrarea

feedbackului în desfășurarea activităților. Modelele 5E, Clasa Inversată și ISMC mută învățarea în zona în care conceptele sunt puse la lucru, verificate și acceptate de către elev.

Rezultatele teoretico-metodologice, aplicative și experimentale prezentate în acest capitol au fost valorificate în următoarele lucrări. Fundamentele constructiviste ale învățării fizicii, ilustrate prin modelul de instruire 5E aplicat la studiul Mișcării uniform accelerate (paragraful 2.1), sunt dezvoltate pe larg în Calalb & Zelenschi [45], *Constructivismul în predarea fizicii*. Experimentul pedagogic desfășurat pentru validarea modelului Clasei Inversate la predarea capitolului Echilibrul de rotație (paragraful 2.2) își are corespondentul în Zelenschi & Calalb [209], *Aplicarea metodei Clasa Inversată la predarea capitolului Echilibrul de rotație din cursul de fizică de clasa a VII-a*. De asemenea, comparația dintre strategiile constructiviste utilizate în predarea capitolului Interacțiuni, clasa a VII-a (paragraful 2.3), a constituit obiectul lucrării Calalb & Zelenschi [46], *Metode constructiviste de predare a interacțiunilor în clasa VII. Analiză comparativă*.

3. ANALIZA ȘI VALIDAREA ABORDĂRILOR CONSTRUCTIVISTE ÎN ÎNVĂȚAREA FIZICII

3.1. Analiza cadrului curricular din perspectiva dimensiunilor constructiviste ale învățării

Capitolul de față urmărește o problemă esențială pentru orice demers didactic: cum ajung ideile despre învățarea constructivistă să se transforme în practici reale la clasă. Subliniem că în predarea fizicii acest parcurs este mediat de trei documente de bază – Concepția disciplinei școlare „Fizică. Astronomie” [141], Curriculumul „Fizică. Astronomie” [142] și Ghidul de implementare a curriculumului „Fizică. Astronomie” [143] – care, împreună, definesc ce înseamnă să înveți fizica, ce trebuie să dobândească elevii și cum poate fi organizată activitatea didactică. Fiecare dintre aceste documente operează la un nivel diferit: unul formulează sensul și direcția, altul structurează conținuturile și competențele, iar cel de-al treilea propune modalități concrete de lucru. Această diferențiere a nivelurilor de organizare curriculară poate fi înțeleasă în termenii modelului propus de Vladimir Guțu, care distinge dimensiuni conceptuale, structurale și procesuale ale curriculumului și subliniază unitatea dintre finalități, conținuturi, strategii de instruire și evaluare, precum și continuitatea dintre proiectare și implementare [97].

Analiza de față vizează reflectarea reală a constructivismului în cadrul curricular al disciplinei Fizică și Astronomie, prin raportare la modul în care acesta este transpus în organizarea învățării. Astfel, cercetarea analizează cum principiile constructiviste se regăsesc în structura competențelor, a conținuturilor și a activităților didactice, astfel încât aceste principii să devină operaționale în mod real.

Pentru a răspunde la această întrebare, analiza a fost organizată în jurul a patru dimensiuni care definesc modul constructivist de învățare:

- statutul elevului și natura învățării,
- construirea cunoașterii prin experiență, investigație și modelare,
- interacțiunea și argumentarea în învățarea științifică, precum și
- organizarea demersului didactic de către profesor.

Aceste dimensiuni sunt urmărite sistematic în toate cele trei documente operaționale menționate, pentru a evidenția unde apar explicit, unde sunt doar sugerate și cum se transformă atunci când trecem de la formulări generale la cerințe concrete. În acest fel, analiza face vizibilă relația dintre ceea ce se afirmă despre învățarea constructivistă și ceea ce se cere, în mod real, să se întâmple în clasă, punând în lumină atât zonele de coerență, cât și eventualele discontinuități ale cadrului curricular.

Pentru a face vizibil modul în care aceste dimensiuni se transformă de la nivel conceptual la nivelul practicii didactice, propunem o reprezentare sintetică a procesului de transpunere curriculară. Figura 3.1 surprinde dinamica celor patru dimensiuni constructiviste în trecerea prin documentele analizate, evidențiind faptul că acestea nu se transferă mecanic, ci sunt modificate succesiv prin procese de transpunere structurală, operaționalizare didactică și adaptare contextuală. Această perspectivă este susținută de analizele asupra raportului dintre curriculumul proiectat și cel implementat, care arată că orientările curriculare sunt reinterpretate și ajustate în procesul didactic, în funcție de condițiile concrete ale practicii educaționale [25].

Variația grosimii liniilor din Fig. 3.1 indică modul în care fiecare dimensiune constructivistă este preluată, transformată și susținută pe traseul de la concepție la practica didactică. Toate dimensiunile pornesc puternic la nivel conceptual, dar sunt afectate diferit de etapele de filtrare: statutul elevului și construirea cunoașterii își păstrează relativ coerența, deși devin mai puțin explicit formulate în Curriculum și mai dependente de aplicare în practică; în schimb, interacțiunea și argumentarea, precum și rolul profesorului, se reduc semnificativ la nivel structural, unde apar mai ales implicit, și sunt recuperate parțial în Ghid prin strategii și forme de organizare, fără a deveni stabile în practica reală. În consecință, grosimea și continuitatea liniilor nu exprimă doar prezența sau absența acestor dimensiuni, ci diferențele de intensitate, explicitare și stabilitate care rezultă din procesele succesive de transpunere structurală, operaționalizare didactică și adaptare contextuală.

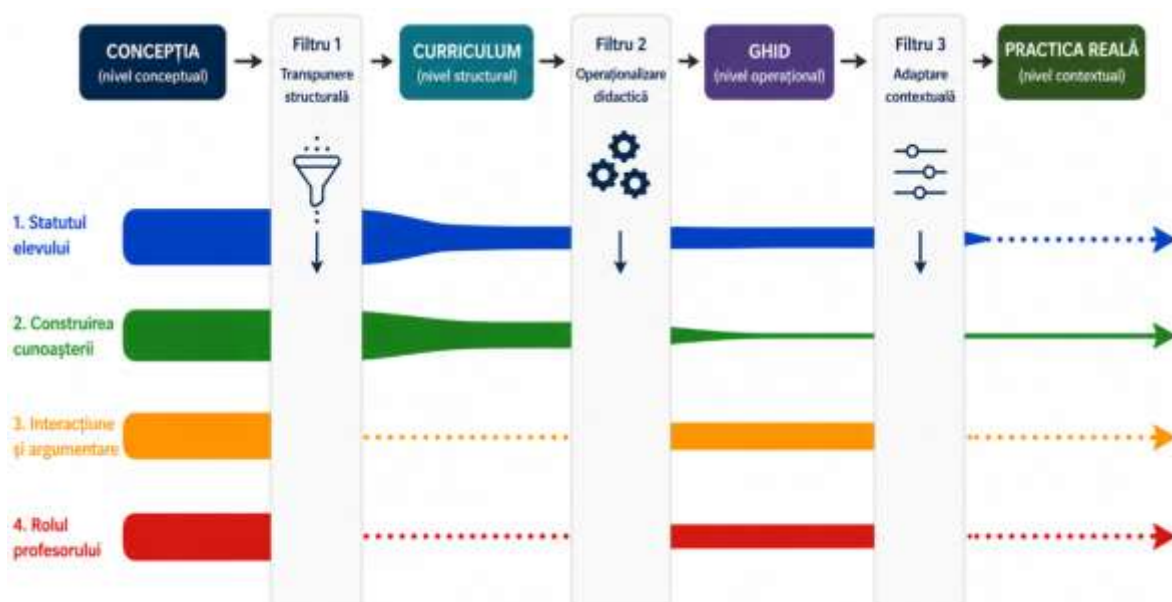


Fig. 3.1. Dinamica transpunerii dimensiunilor constructiviste de la concepție la practica didactică.

3.1.1. Statutul elevului și natura învățării în documentele curriculare naționale

În această secțiune analizăm reflectarea primei dimensiuni constructiviste „statutul elevului și natura învățării” în documentele curriculare la disciplina Fizică și Astronomie.

Analiza Concepției arată că statutul elevului ca autor al cunoașterii sale și natura constructivistă a învățării nu sunt formulate explicit, dar sunt dispersate în structura Concepției la niveluri diferite. Astfel, primele două secțiuni ale Concepției „Context și dileme curriculare” și „Dileme curriculare specifice disciplinei” introduc deja o tensiune între modelul tradițional și cel orientat spre acțiune, sugerând necesitatea depășirii unei învățări reduse la acumulare și orientarea către utilizarea cunoașterii în contexte reale. Această deplasare nu este formulată ca principiu explicit, dar creează cadrul în care elevul nu mai poate fi conceput ca simplu receptor, ci ca participant implicat în procese de înțelegere.

În secțiunea dedicată viziunii și finalităților, această orientare devine mai clară prin raportarea la competențe, definite prin capacitatea de a acționa în situații semnificative. În acest punct, natura învățării se desprinde de ideea de transmitere și capătă sensul unei construcții realizate prin utilizare și transferul cunoașterii. Formularea explicită apare în partea epistemologică a Concepției, care constituie a patra zonă tematică majoră a documentului, unde elevul este văzut ca subiect activ al învățării, iar învățarea este descrisă prin termeni care indică direct mecanismele științifice ale cunoașterii: „observație sistematică, experiment controlat, formularea și testarea ipotezelor”. În același context este menționată și organizarea învățării ca investigație ghidată a problemelor autentice.

În formularea competențelor specifice, elevul apare prin acțiuni clare: analiză, investigare, modelare, aplicare și comunicare. Această structură urmează logica internă a cunoașterii științifice și fixează învățarea ca activitate organizată, nu ca recepție. Totuși, formulările rămân generale și nu indică modul concret de realizare a acestor acțiuni în demersul didactic. Dimensiunea aplicativă este consolidată în secțiunea privind relevanța socială, unde utilizarea cunoașterii în contexte reale devine criteriu implicit al învățării, iar organizarea conținuturilor în secțiunea următoare sugerează o progresie bazată pe construirea treptată a înțelegerii, nu pe succesiunea de teme. În aceste condiții, învățarea capătă un caracter contextual și integrativ, iar sensul se construiește prin relaționarea între domenii.

La nivelul strategiilor didactice, autorii Concepției menționează doar experimentul real sau virtual și proiecte STEM/STEAM, și scapă din vedere strategii didactice constructiviste ca ISMC, Clasa Inversată, Metoda Mozaicului, Modelul 5E. Această limitare restrânge paleta de organizare a învățării la câteva forme generale și lasă neexplicate mecanismele prin care activitatea cognitivă a elevului poate fi structurată sistematic în direcția construirii cunoașterii. În ansamblu, Concepția

configurează un model în care elevul este explicit definit ca subiect al învățării, iar natura învățării este investigativă, aplicativă și contextualizată. Totuși, această orientare nu este sintetizată într-un model didactic unitar, ci rezultă din articularea mai multor secțiuni care operează complementar.

În Curriculumul la *Fizică și Astronomie*, statutul elevului și natura învățării nu sunt enunțate direct ca principii, dar rezultă din modul de organizare a întregului demers curricular, din cerințele de performanță, din structura competențelor și din tipul de activități propuse. Încă din partea introductivă, învățarea este raportată la ceea ce elevul ajunge să facă în mod concret, prin competențe, conținuturi și activități de învățare, mutând accentul de pe transmiterea informațiilor pe rezultate reale ale învățării. În această logică, elevul apare implicit ca participant activ, deoarece atingerea performanței presupune implicare proprie în procesul de învățare.

Definirea competenței întărește această perspectivă, elevul fiind văzut prin capacitatea de a mobiliza resurse pentru rezolvarea unor probleme, iar învățarea este organizată ca utilizare a cunoașterii în contexte concrete, nu ca acumulare de conținuturi. Aceeași orientare se regăsește în condițiile de formare a competenței, unde este subliniată utilizarea cunoștințelor în contexte reale și rezolvarea de situații problemă, ceea ce conferă învățării un caracter aplicativ și contextual și implică elevul în procese de utilizare și interpretare a cunoașterii.

Modul de organizare a conținuturilor întărește această logică, printr-o succesiune de acțiuni precum identificarea fenomenului, explorarea, interpretarea și studiul aplicațiilor practice. Această structură nu descrie doar o ordine didactică, ci un traseu de construire a cunoașterii, în care elevul observă, investighează și folosește ceea ce învață. În același timp, Curriculumul se distanțează de modelul bazat pe memorare, precizând că rezultatele învățării nu sunt liste de conținuturi de reținut, ceea ce orientează învățarea spre acțiune și înțelegere.

Statutul elevului este întărit și prin modul în care este definită competența de cunoaștere științifică, ca un ansamblu de resurse manifestate prin comportamente adecvate, ceea ce leagă învățarea de ceea ce elevul face și demonstrează. În aceeași direcție, componenta metodologică introduce dimensiunea investigativă, prin referire la metode de cunoaștere empirică și teoretică și la cercetarea experimentală, implicând elevul în activități apropiate de practica științifică.

Corelarea activităților de învățare și evaluare cu competențele arată că învățarea este gândită ca activitate structurată, nu ca simplă expunere. Elevul apare ca participant în situații construite didactic, iar sarcinile sunt formulate ca situații semnificative, modelate pedagogic, ceea ce indică legătura cu contexte relevante.

În Ghidul de implementare a curriculumului, statutul elevului și natura învățării nu sunt formulate teoretic, ci apar indirect în modul în care sunt descrise acțiunile din clasă. Elevul nu este definit printr-un enunț de principiu, ci prin ceea ce face în situațiile de învățare.

O formulare explicită apare în principiul centrării pe elev, unde este precizată participarea activă a elevilor în procesul de învățământ, inclusiv prin formularea obiectivelor proprii, alegerea modului de lucru și colaborarea cu colegii și cu profesorul. În acest context, elevul nu doar execută sarcini, ci intervine în organizarea propriei învățări, ceea ce indică un statut activ și autoreglat. Rolul profesorului este formulat complementar, prin orientarea elevului prin întrebări, nu prin oferirea directă a soluțiilor, ceea ce deplasează controlul învățării către elev.

Natura învățării este configurată prin tipul strategiilor didactice recomandate. Pentru competența de investigație științifică sunt indicate strategii bazate pe cercetare, iar pentru alte competențe sunt propuse strategii orientate spre comunicare sau acțiune practică. Această diferențiere arată că învățarea este concepută ca activitate diversificată, în care elevul investighează, comunică și aplică.

Dimensiunea investigativă este susținută și prin exemplele de activități, precum strategia investigației experimentale utilizată pentru formarea sub-competențelor. Elevul este implicat în explorare și în stabilirea relațiilor între mărimi, ceea ce indică o învățare construită prin experiment și analiză. Ghidul subliniază caracterul integrat al competenței, prezentată ca rezultat a componentelor sale. Aceasta presupune combinarea cunoștințelor, capacităților și atitudinilor în situații concrete, ceea ce definește o învățare funcțională.

Organizarea învățării prin unități de învățare consolidează această perspectivă. Acestea sunt descrise ca structuri coerente, finalizate prin evaluare, care operează prin modele de predare și învățare și subordonează lecția ca element operațional. Elevul este astfel implicat într-un parcurs continuu, nu într-o succesiune de activități izolate.

Utilizarea tehnologiilor digitale introduce o altă dimensiune a statutului elevului, prin implicarea în selectarea, prelucrarea și prezentarea informației. În acest caz, învățarea presupune operare cu informația și construire de produse. În același timp, utilizarea TIC este asociată cu diversificarea strategiilor didactice și cu facilitarea accesului la informație, ceea ce extinde autonomia elevului.

Un alt element relevant este accentul pe învățarea prin descoperire, unde este subliniată construirea independentă a cunoașterii și reorganizarea acesteia de către elev. Natura învățării este astfel una constructivă, iar elevul devine responsabil de propriul parcurs cognitiv.

3.1.2. Reflectarea construirii cunoașterii în documentele curriculare naționale

În Concepția disciplinei Fizică și Astronomie, construirea cunoașterii nu este prezentată ca un model închegat, dar se conturează treptat din felul în care sunt legate între ele secțiunile documentului. Încă de la început, în partea despre context și dileme curriculare, apare schimbarea de accent de la acumularea de conținuturi la înțelegere și utilizare în situații relevante, ceea ce trimite la o învățare raportată la experiența elevului, nu la o simplă preluare pasivă. Aceeași idee revine în formularea viziunii și a finalităților, unde competențele sunt legate de capacitatea de a acționa în situații semnificative, iar cunoașterea capătă sens prin folosire și transfer.

Dimensiunea aceasta devine mai clară în secțiunea epistemologică, unde cunoașterea științifică este descrisă prin procese precum observația sistematică, experimentul controlat, formularea și testarea ipotezelor și diferite forme de modelare. Experiența și investigația nu mai apar ca simple metode de lucru, ci sunt puse în legătură directă cu producerea cunoașterii, iar modelarea apare ca instrument de organizare și explicare, în relație cu legătura dintre teorie, experiment și aplicație. Aceeași logică este dusă mai departe la nivelul competențelor, unde elevul este implicat în activități de control al variabilelor, interpretare a datelor și evaluare a limitelor modelelor, ceea ce marchează trecerea de la descrierea proceselor la formularea unor sarcini concrete.

Dimensiunea experiențială se extinde în secțiunea despre relevanța socială și economică, unde utilizarea cunoașterii în contexte reale apare ca reper, iar în arhitectura conținuturilor se regăsește sub forma unei organizări progresive a învățării, cu dezvoltarea treptată a modelelor explicative și integrarea lor în sisteme coerente. Integrarea noilor educații și corelările interdisciplinare extind această perspectivă, plasând construirea cunoașterii în contexte mai complexe, în care investigarea experimentală și modelarea sistemelor fizice sunt utilizate complementar, iar modelele sunt transferate și adaptate între domenii.

La nivelul strategiilor didactice, aceste orientări se regăsesc în activități de tip investigații experimentale, inclusiv în variantă virtuală, ceea ce arată rolul experienței în învățare. Evaluarea este legată de produsele activității elevului, ceea ce mută atenția spre modul în care cunoașterea este utilizată, nu doar spre rezultatul final. În perspectiva de modernizare, această dimensiune este raportată la evoluțiile tehnologice și științifice, ceea ce presupune integrarea unor forme de experiență și modelare, inclusiv digitală.

În Curriculumul la Fizică și Astronomie, construirea cunoașterii nu este formulată ca principiu explicit, dar se vede în modul în care sunt definite competențele, organizate conținuturile și gândite activitățile de învățare. Încă din partea introductivă, învățarea este legată de condițiile în care se produce și de performanțele urmărite, exprimate prin competențe, conținuturi și

activități, ceea ce indică o orientare spre rezultatele activității elevului. Aceeași idee este întărită prin definirea competenței ca mobilizare de resurse în contexte specifice pentru rezolvarea de probleme, ceea ce presupune confruntarea cu situații care cer interpretare și decizie.

Dimensiunea experiențială apare clar în condițiile de formare a competenței, unde este cerută utilizarea cunoștințelor în situații concrete și rezolvarea de situații problemă. Această orientare reflectă perspectiva constructivistă asupra învățării, conform căreia cunoașterea nu este transmisă direct, ci este construită activ de către elev prin interacțiunea cu mediul, prin formularea de ipoteze și prin confruntarea experiențelor noi cu cele anterioare [50]. Astfel, experiența nu este tratată ca exemplu ilustrativ, ci ca mediul în care cunoașterea capătă sens și funcționalitate. Aceeași logică se regăsește în organizarea conținuturilor, structurate ca un parcurs de identificare a fenomenului, explorare, interpretare și studiu al aplicațiilor practice. Această succesiune arată un proces de construire a cunoașterii în care experiența inițială este urmată de investigare și de elaborarea explicațiilor, iar modelarea este implicată în etapa de interpretare.

Caracterul investigativ al învățării este susținut de componenta metodologică a competenței de cunoaștere științifică, care include metode de cunoaștere empirică și teoretică și cercetare experimentală. Elevul este plasat în situații apropiate de practica științifică, în care cunoașterea se construiește prin experiment, observație și analiză. În același timp, accentul pe comportamente și pe integrarea resurselor arată că modelarea nu este tratată ca element separat, ci ca parte a procesului de înțelegere și explicare.

Organizarea activităților de învățare și evaluare în funcție de competențele vizate confirmă această orientare, învățarea fiind construită ca ansamblu de situații în care elevul investighează, interpretează și aplică. Respingerea memorării, prin precizarea că rezultatele învățării nu sunt liste de conținuturi de reținut, întărește orientarea spre utilizarea cunoașterii.

În Ghid, construirea cunoașterii nu apare ca schemă teoretică, ci se vede în recomandările de lucru și în tipurile de activități propuse. Dacă în Concepție este formulată la nivel de idee, iar în Curriculum este integrată în structură, aici devine vizibilă în modul concret în care este organizată activitatea elevului.

Dimensiunea experiențială este prezentă constant, prin accentul pus pe contactul direct al elevului cu fenomenele studiate. Exemplele de strategie includ investigația experimentală utilizată pentru formarea sub-competențelor, ceea ce arată că experiența nu este un simplu suport, ci punctul de plecare al învățării. Elevul nu primește rezultatele, ci participă la realizarea experimentului și la stabilirea relațiilor între mărimi, astfel că înțelegerea se construiește din interacțiunea directă cu obiectul de studiu.

Caracterul investigativ este susținut prin strategiile recomandate pentru competența de investigație științifică, bazate pe cercetare, ceea ce presupune organizarea învățării în jurul explorării, formulării de ipoteze și verificării lor. Aceeași orientare apare și în învățarea prin descoperire, unde elevul construiește cunoașterea în mod independent și își organizează și restructurează propriile cunoștințe.

Dimensiunea modelării nu este tratată separat, dar apare în modul în care elevul lucrează cu informația și cu reprezentările. Utilizarea tehnologiilor digitale implică selectarea, prelucrarea și prezentarea informației despre fenomenele fizice, ceea ce presupune construirea de reprezentări. În același timp, simulările și experimentele virtuale sunt folosite pentru a modela situații greu de realizat în laborator, ceea ce introduce modelarea ca instrument de explorare și înțelegere.

Construirea cunoașterii este susținută și prin organizarea activităților în unități de învățare, unde competențele, conținuturile și activitățile sunt corelate. Învățarea apare ca un proces continuu, în care experiența, investigarea și interpretarea se leagă între ele. Caracterul integrat al competenței, definit ca rezultată a mai multor componente, presupune combinarea acestor procese în situații concrete.

3.1.3. Reflectarea interacțiunii, argumentării și comunicării științifice

Privită prin prisma interacțiunii, argumentării și comunicării științifice, Concepția nu propune un model explicit al învățării sociale, dar construiește consecvent premisele unui astfel de model prin felul în care definește cunoașterea și organizarea învățării. În ansamblul documentului, învățarea apare legată de confruntarea ideilor, de validarea afirmațiilor prin dovezi și de comunicarea rezultatelor, aceste elemente fiind prezente de la nivelul cadrului general până la nivelul strategiilor didactice și al evaluării.

În partea dedicată contextului și dilemelor curriculare, orientarea spre competențe marchează depășirea unei învățări individuale centrate pe reproducere și deschide către situații în care schimbul de idei și raportarea la contexte sociale devin necesare. Aceeași direcție este susținută prin opoziția dintre modelul transmisiv și cel bazat pe activitate, care implică trecerea de la recepție la participare, iar interacțiunea devine o condiție a învățării, nu un element auxiliar.

În formularea viziunii și a finalităților educaționale, dimensiunea socială este integrată în ideea de competență, care presupune nu doar utilizarea cunoașterii, ci și comunicarea acesteia în contexte relevante. Învățarea este astfel orientată spre acțiune și exprimare, iar sensul cunoașterii se construiește în procesul de utilizare și de comunicare.

Această orientare este formulată explicit în partea epistemologică, unde cunoașterea științifică este legată de validarea concluziilor prin dovezi și de comunicarea argumentată. Organizarea învățării prin investigații presupune argumentarea deciziilor, ceea ce introduce în mod

direct justificarea și dialogul cognitiv ca mecanisme ale învățării. Valorile asociate, centrate pe cooperare și comunicare bazate pe argumente, plasează interacțiunea în nucleul procesului de construire a cunoașterii.

La nivelul corelării competențelor, aceste orientări sunt transpuse în cerințe operaționale, care implică analiza critică a datelor și formularea de concluzii argumentate. Argumentarea devine astfel componentă a competenței, iar învățarea presupune nu doar formularea unui răspuns, ci susținerea lui în raport cu datele și criteriile de validare.

În secțiunea privind relevanța socială și economică, interacțiunea este extinsă către contexte reale, în care utilizarea cunoașterii implică responsabilitate și comunicare în raport cu probleme concrete. În organizarea conținuturilor, această dimensiune este reflectată indirect prin revenirea asupra conceptelor în contexte diferite, ceea ce presupune discutare, clarificare și negociere de sens, procese prin care cunoașterea este stabilizată și reconfigurată.

În integrarea noilor educații și în corelările interdisciplinare, caracterul social al învățării devine mai vizibil prin activități care solicită colaborare și articularea perspectivelor diferite. Comunicarea rezultatelor și argumentarea deciziilor devin necesare în contexte în care cunoașterea este transferată, adaptată și pusă în relație cu alte domenii.

La nivelul strategiilor didactice, această dimensiune se concretizează în activități care implică prezentare, dezbateri și justificare în cadrul unor sarcini autentice. Interacțiunea funcționează aici ca mecanism de validare și consolidare a cunoașterii, iar argumentarea este integrată în procesul de învățare, nu rezervată momentului evaluării.

În evaluarea competențelor, accentul pe produse precum rapoarte sau prezentări presupune comunicarea rezultatelor și justificarea acestora, ceea ce indică faptul că evaluarea vizează nu doar corectitudinea răspunsului, ci și capacitatea de argumentare și susținere a afirmațiilor în raport cu dovezile.

În perspectiva de modernizare, dimensiunea interacțiunii este raportată la mediile digitale și la necesitatea comunicării în contexte variate, ceea ce extinde spațiul învățării și introduce forme noi de colaborare și argumentare.

Interacțiunea, argumentarea și comunicarea științifică sunt astfel formulate explicit la nivel epistemologic și axiologic și sunt susținute, la nivel operațional, prin competențe, strategii și evaluare. Învățarea apare configurată ca proces social, bazat pe schimb de idei și pe justificarea afirmațiilor în raport cu dovezile, această dimensiune fiind prezentă transversal în document, fără a fi organizată într-un model explicit al învățării sociale.

În Curriculumul la Fizică și Astronomie, dimensiunea interacțiunii și a argumentării nu este formulată ca principiu explicit, dar devine vizibilă în modul în care este definită competența

de cunoaștere științifică și în structura procesului de învățare. Încă de la nivelul acestei competențe, se precizează că ea implică utilizarea adecvată a limbajului științific și realizarea unor comportamente adecvate în vederea rezolvării unor situații semnificative, ceea ce introduce comunicarea nu doar ca expresie, ci ca instrument de operare în situații de cunoaștere. În același timp, includerea explicită a competenței de comunicare științifică ca parte a structurii competenței generale indică faptul că transmiterea și formularea ideilor fac parte din însăși definiția învățării, nu reprezintă un element exterior acesteia.

Caracterul argumentativ al învățării apare în modul în care sunt definite condițiile formării competenței. Elevul este solicitat să rezolve diverse situații problemă și să manifeste comportamente în contexte specifice, ceea ce presupune nu doar găsirea unei soluții, ci și justificarea acesteia în raport cu situația dată. Deși termenul de argumentare nu este utilizat frecvent, structura acestor cerințe implică existența unui proces de validare a răspunsului, în care elevul trebuie să coreleze datele, cunoștințele și contextul, nu doar să le utilizeze.

Dimensiunea interacțiunii este mai puțin explicită la nivel declarativ, dar apare în modul de organizare a competențelor și al activităților. Competențele de comunicare științifică presupun, prin definiție, raportarea la un interlocutor sau la un context de prezentare, iar structura activităților de învățare și evaluare, corelate cu competențele, implică situații în care elevul trebuie să exprime, să prezinte și să susțină rezultatele activității sale. În acest sens, interacțiunea nu este formulată ca obiectiv autonom, dar funcționează ca o condiție a realizării sarcinilor.

Organizarea conținuturilor contribuie indirect la această dimensiune, prin succesiunea identificare – explorare - interpretare - aplicare, în care etapa de interpretare presupune formularea unor explicații și corelarea lor cu observațiile. Acest proces implică, chiar dacă nu este explicit menționat, necesitatea exprimării și justificării ideilor, ceea ce introduce o componentă argumentativă în structura învățării și indică prezența unui mecanism implicit de validare.

În același timp, orientarea curriculumului spre situații semnificative modelate pedagogic implică existența unor contexte în care elevul trebuie să comunice și să adapteze cunoașterea, ceea ce presupune interacțiune atât cu sarcina, cât și cu ceilalți participanți la procesul educațional. Totuși, această dimensiune nu este dezvoltată explicit în termeni de colaborare sau dialog, ci rămâne subsumată ideii de performanță individuală în rezolvarea sarcinilor, fără a fi formulată ca mecanism central al învățării.

În Ghid, dimensiunea interacțiunii și a argumentării este mai concretă decât în Curriculum, fiind legată direct de modul de organizare a situațiilor de învățare și de tipul sarcinilor propuse elevilor. Nu apare formulată ca principiu teoretic, dar este integrată în descrierea practicilor didactice și a formelor de activitate din clasă.

Un prim nivel de evidențiere este cel al comunicării științifice, tratată ca tip distinct de competență, pentru care sunt recomandate strategii didactice orientate prioritar spre comunicare. Această orientare mută comunicarea din zona produsului final în interiorul procesului de învățare, sugerând că formularea ideilor, explicarea și schimbul de puncte de vedere fac parte din activitatea cognitivă, nu doar din rezultatele ei.

Interacțiunea se regăsește și în modul de organizare a activităților, unde este menționată explicit colaborarea elevilor cu colegii și cu profesorul în vederea atingerii scopului propus. În acest cadru, învățarea se construiește prin cooperare, iar sensul nu este stabilit unilateral, ci rezultă din schimbul de idei și din confruntarea perspectivelor. Aceeași orientare este susținută de rolul profesorului, care intervine prin întrebări, nu prin oferirea directă a soluțiilor, ceea ce deschide un spațiu de negociere a răspunsurilor și implică elevul în procese de justificare.

Dimensiunea argumentativă devine explicită în activitățile de tip dezbateri, unde elevii sunt solicitați să formuleze și să susțină argumente pe baza unor raționamente logice și a unor dovezi. În acest context, argumentarea devine obiect al activității, iar validitatea ideilor este legată de capacitatea de a le susține în raport cu datele și cu poziții alternative. Astfel de activități presupun existența unor puncte de vedere diferite și a unui cadru de evaluare a acestora, ceea ce introduce un nivel mai complex de interacțiune cognitivă.

Un alt nivel al comunicării apare în utilizarea tehnologiilor digitale, unde elevii sunt implicați în prezentarea informației, ceea ce presupune organizarea și exprimarea cunoașterii într-o formă accesibilă altora. Comunicarea devine parte a procesului de construire a cunoașterii, iar utilizarea diferitelor medii extinde formele de interacțiune dincolo de cadrul clasei.

În același timp, Ghidul propune forme de organizare a activității care implică lucrul în echipă și proiectele comune, asociate dezvoltării competențelor de comunicare și colaborare. Acestea presupun nu doar distribuirea sarcinilor, ci și coordonarea ideilor, explicarea și ajustarea lor în raport cu ceilalți membri ai grupului, ceea ce implică procese de argumentare distribuite.

Prin aceste elemente, interacțiunea, argumentarea și comunicarea nu apar ca dimensiuni separate, ci ca practici integrate în activitățile de învățare. Ele sunt vizibile în formularea sarcinilor, în strategiile propuse și în organizarea clasei, fără a fi reunite într-un model conceptual explicit, dar fiind susținute constant la nivel operațional.

3.1.4. Reflectarea rolului profesorului și a organizării demersului didactic

În Concepția disciplinei Fizică și Astronomie, rolul profesorului și modul de organizare a demersului didactic nu sunt prezentate într-o secțiune metodologică separată, ci se conturează treptat, în legătură directă cu statutul elevului și cu modul în care este înțeleasă cunoașterea.

Profesorul nu mai este asociat cu transmiterea informației, ci este definit prin raportarea sa la procesele prin care elevul construiește sens și explică fenomenele.

Această re poziționare este exprimată clar în partea epistemologică, unde profesorul este descris ca facilitator al învățării, mentor al elevului și proiectant al unor contexte educaționale relevante. Sunt reunite aici trei direcții de acțiune: sprijinirea procesului de învățare, orientarea parcursului elevului și construirea situațiilor în care acesta poate dezvolta cunoașterea. În acest cadru, activitatea didactică nu mai este centrată pe expunere, ci pe proiectarea unor contexte care solicită implicarea elevului.

Structurarea demersului didactic este legată de tipul situațiilor propuse, precum probleme autentice, investigații ghidate sau proiecte interdisciplinare. Acestea indică o organizare a învățării în jurul unor activități deschise, în care profesorul stabilește cadrul și direcția, iar elevul este implicat în explorare și rezolvare. Ghidarea devine astfel o funcție centrală, sugerând un echilibru între autonomia elevului și orientarea oferită de profesor.

Aceeași logică se regăsește în formularea competențelor, unde activitățile de învățare implică procese precum controlul variabilelor, interpretarea datelor, evaluarea limitelor modelelor și formularea concluziilor argumentate. Organizarea unor situații în care aceste procese devin efective revine profesorului, ceea ce transformă demersul didactic într-un ansamblu coerent de sarcini care solicită gândirea elevului.

În secțiunea referitoare la relevanța socială și economică, rolul profesorului este extins către conectarea conținuturilor cu realitatea, prin selecția și contextualizarea situațiilor de învățare în raport cu probleme actuale. Aceeași responsabilitate apare și în organizarea conținuturilor, unde progresia învățării presupune o succesiune coerentă de experiențe didactice, în acord cu dezvoltarea conceptuală a elevului.

Integrarea noilor educații și a abordărilor interdisciplinare presupune, la rândul ei, implicarea activă a profesorului în corelarea domeniilor și în proiectarea unor activități care depășesc cadrul strict al disciplinei. În aceste condiții, demersul didactic nu mai urmează o structură liniară, ci devine flexibil și adaptat unor situații complexe.

La nivelul strategiilor didactice, această orientare se concretizează prin utilizarea unor activități precum investigații experimentale, proiecte de tip STEM sau sarcini autentice, ceea ce presupune organizarea lecției în jurul acțiunii elevului. Profesorul devine responsabil de alegerea și articularea acestor activități, nu de simpla transmitere a conținuturilor.

În ceea ce privește evaluarea, demersul didactic este completat printr-o evaluare formativă și criterială, orientată spre produse observabile ale activității elevului. Evaluarea este integrată în

procesul de învățare, iar profesorul intervine pe parcurs, reglând activitatea prin criterii și feedback.

În perspectiva de modernizare, rolul profesorului este raportat la schimbările tehnologice și sociale, ceea ce presupune adaptarea continuă a modului de organizare a învățării și utilizarea unor resurse variate.

Concepția conturează astfel un rol al profesorului centrat pe facilitare, ghidare și proiectare, iar organizarea demersului didactic este construită în jurul unor situații de învățare deschise, orientate spre activitatea elevului. Această orientare este formulată explicit la nivel epistemologic și susținută în restul documentului, fără a fi însă dezvoltată sub forma unui model procedural detaliat.

În Curriculumul la Fizică și Astronomie, rolul profesorului nu este descris prin formulări explicite, ci se deduce din modul în care sunt construite competențele, organizate conținuturile și corelate activitățile de învățare și evaluare. Profesorul nu este plasat în poziția de furnizor al cunoașterii, ci apare ca cel care creează și organizează situații în care elevul este pus în condiția de a mobiliza și utiliza resurse în contexte relevante.

Această orientare devine evidentă încă din definirea competenței, care presupune mobilizarea cunoștințelor pentru rezolvarea unor probleme. În acest cadru, demersul didactic nu poate fi redus la o expunere liniară, ci trebuie construit în jurul unor sarcini care solicită acțiune și decizie. Profesorul este astfel responsabil de selectarea și formularea acestor situații, ceea ce mută accentul de pe predare pe proiectarea activității de învățare.

Structura conținuturilor consolidează această schimbare, printr-o succesiune care pornește de la identificarea fenomenului și continuă cu explorarea, interpretarea și studiul aplicațiilor practice. Această organizare presupune un parcurs etapizat, în care profesorul nu oferă direct explicațiile, ci creează condițiile pentru ca elevul să parcurgă aceste etape. Rolul său este legat de organizarea progresiei și de menținerea coerenței între momentele învățării.

În același timp, componenta metodologică a competenței de cunoaștere științifică, care include metode de cercetare experimentală, presupune un demers didactic bazat pe activități de investigare. Profesorul este pus în situația de a organiza activități în care aceste metode pot fi utilizate, ceea ce implică gestionarea resurselor, a timpului și a secvențelor de lucru, chiar dacă aceste aspecte nu sunt detaliate explicit în document.

Corelarea competențelor cu activitățile de învățare și evaluare indică faptul că demersul didactic este conceput ca un sistem integrat, în care fiecare activitate are un rol în formarea competențelor. Profesorul nu operează cu activități izolate, ci construiește secvențe coerente,

raportate la obiectivele de învățare. Organizarea didactică apare astfel orientată spre finalități, nu spre simpla parcurgere a conținuturilor.

De asemenea, decentrarea memorării a obiectiv central, prin precizarea că rezultatele învățării nu se reduc la liste de conținuturi de reținut, implică o reconfigurare a rolului profesorului. Acesta nu mai este responsabil de transmiterea exhaustivă a informației, ci de crearea unor situații în care elevul poate construi și utiliza cunoașterea.

În ansamblu, Curriculumul configurează rolul profesorului prin cerințele pe care le impune organizării învățării. Profesorul apare ca organizator al situațiilor de învățare, responsabil de structurarea progresiei și de corelarea activităților cu competențele, iar demersul didactic este orientat spre acțiune, investigare și aplicare. Această perspectivă este coerentă la nivel structural, dar nu este formulată explicit ca model al rolului profesorului, ci rezultă din arhitectura internă a documentului.

În Ghid, rolul profesorului și modul de organizare a demersului didactic sunt prezentate mult mai direct decât în Curriculum, fiind descrise prin acțiuni concrete și prin felul în care sunt structurate activitățile de învățare. Profesorul nu mai este asociat cu transmiterea conținutului, ci cu gestionarea procesului de învățare și orientarea activității elevului.

Această re poziționare apare clar în principiul centrării pe elev, unde se precizează că profesorul nu oferă soluții, ci formulează întrebări care îl conduc pe elev către rezolvare. În acest cadru, demersul didactic este construit ca o succesiune de situații problematice, în care intervenția profesorului are rol de ghidare, nu de explicare directă, ceea ce marchează trecerea de la expunere la facilitare.

Organizarea activității didactice este corelată cu tipul competențelor vizate, pentru fiecare fiind recomandate strategii adecvate. Pentru competența de investigație sunt propuse abordări bazate pe cercetare, iar pentru comunicare sunt indicate strategii centrate pe exprimare și schimb de idei. Această diferențiere arată că profesorul nu aplică un model unic, ci își adaptează demersul în funcție de tipul activității cognitive solicitate elevului.

Structurarea învățării prin unități de învățare introduce o organizare mai amplă a demersului didactic. Acestea sunt definite ca secvențe coerente, construite pe baza unor modele de învățare și finalizate prin evaluare. Profesorul este responsabil de configurarea acestor unități, de corelarea competențelor cu conținuturile și de stabilirea activităților de învățare și evaluare, ceea ce indică un rol de proiectare și coordonare a întregului proces.

Dimensiunea organizatorică este detaliată și în planificarea de lungă durată, unde profesorul stabilește ordinea de parcurgere a temelor, distribuirea timpului și activitățile de învățare și evaluare. Această marjă de decizie indică faptul că demersul didactic nu are un caracter

rigid, ci se construiește și se ajustează în funcție de contextul clasei, profesorul asumându-și responsabilitatea adaptării lui la nevoile elevilor. Adaptarea nu este punctuală, ci se realizează ca un proces continuu de reglare a activității didactice, bazat pe interacțiunea dintre proiectare, acțiune și reflecție, în raport cu situațiile concrete de învățare [27].

În același timp, utilizarea tehnologiilor digitale și a diverselor resurse extinde rolul profesorului în selecția și integrarea instrumentelor de lucru. Elevii sunt implicați în activități de selectare, prelucrare și prezentare a informației, iar profesorul creează condițiile pentru desfășurarea acestor procese, organizând un mediu de învățare variat.

Organizarea demersului didactic este susținută și prin accentul pus pe diversificarea metodelor și tehnicilor, în funcție de competențe, conținuturi și particularitățile elevilor. Această flexibilitate indică faptul că profesorul nu urmează un scenariu fix, ci construiește situații de învățare adaptate, în care activitatea elevului este centrală.

Astfel, Ghidul conturează un rolul profesorului ca organizator și facilitator al învățării, responsabil de proiectarea, adaptarea și coordonarea demersului didactic. Organizarea învățării se realizează prin unități coerente, prin corelarea competențelor cu activitățile și prin utilizarea unor strategii variate, orientate spre acțiunea elevului, fără a fi sintetizate într-un model procedural rigid.

În ansamblu, analiza evidențiază că cele trei documente construiesc împreună o viziune recognoscibilă asupra învățării de tip constructivist, dar această viziune nu este distribuită uniform la nivelul lor, ceea ce confirmă faptul că cadrul curricular funcționează ca un sistem de produse interdependente, în care sensul se construiește în relația dintre nivelurile de proiectare și implementare [18]. Concepția formulează cadrul de sens și reperele epistemologice, Curriculumul le transpune în structuri de competențe, conținuturi și activități, iar Ghidul le aduce în planul practicii didactice, prin forme concrete de organizare a învățării. Coerența sistemului nu rezultă din prezența unui model explicit comun, ci din corespondențele parțiale dintre aceste niveluri, acolo unde ideile despre statutul elevului, construirea cunoașterii, interacțiune și rolul profesorului se regăsesc, cu grade diferite de explicitare, în cerințele adresate activității didactice. Această distribuție a dimensiunilor constructiviste pe niveluri diferite de explicitare este sintetizată comparativ în Tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Reflectarea dimensiunilor constructiviste în documentele curriculare.

Dimensiune constructivistă	Concepția (nivel conceptual)	Curriculum (nivel structural)	Ghid (nivel operațional)
Statutul elevului și natura învățării	Elev activ; învățare ca construire și utilizare a cunoașterii	Elev ca agent al rezolvării de probleme; statut dedus din competențe și activități	Elev activ în acțiune, colaborare, autoreglare; statut definit prin sarcini

Construirea cunoașterii: experiență, investigație, modelare	Observație, experiment, ipoteză, modelare; cunoaștere ca proces	Explorare, interpretare, aplicare; investigație integrată; modelare implicită	Investigații, experimente, modele, inclusiv digitale; aplicare directă
Interacțiune, argumentare, comunicare științifică	Argumentare și comunicare ca validare a cunoașterii	Comunicare integrată în competențe; argumentare prin sarcini; interacțiune implicită	Dezbateri, colaborare, prezentare; argumentare explicită în activitate
Rolul profesorului și organizarea demersului didactic	Facilitator, mentor, designer de contexte	Organizator al situațiilor și progresiei; rol dedus din structură	Ghidare, organizare, adaptare; rol definit prin acțiuni

Tabelul 3.1. evidențiază faptul că aceleași dimensiuni constructiviste sunt prezente în toate cele trei documente, dar sunt formulate la niveluri diferite. În Concepție, ele apar la nivel conceptual, ca repere care definesc sensul învățării și rolul actorilor implicați. În Curriculum, aceste orientări sunt transpuse structural, prin modul de organizare a competențelor, conținuturilor și activităților, fără a fi însă explicate ca principii. În Ghid, aceleași dimensiuni sunt aduse în plan operațional, fiind vizibile în acțiuni concrete, în tipuri de sarcini și în forme de organizare a activității didactice. Diferențele nu țin de conținutul ideilor, ci de gradul lor de explicitare și de nivelul la care devin aplicabile în practica educațională.

3.2. Construirea cunoașterii științifice în fizica modernă

3.2.1 Conținuturi de astrofizică cu potențial constructivist

În cadrul paragrafului anterior al tezei au fost analizate modurile în care dimensiunile constructiviste se regăsesc în documentele curriculare, la niveluri diferite de formulare și concretizare. În continuare, această analiză este raportată la conținuturi concrete din fizica modernă, precum găurile negre, undele gravitaționale și principiul de funcționare a interferometrului laser, în care cunoașterea se bazează pe înțelegerea etapelor de evoluție a stelelor, transferul relațiilor fizice cunoscute (precum frecvența și amplitudinea) la descrierea undelor gravitaționale și explicarea modului de manifestare a acestora. Subliniem că analiza conținuturilor implică un tip de cunoaștere care nu se bazează pe observarea directă a fenomenelor, ci pe descrierea proceselor, utilizarea relațiilor fizice și explicarea efectelor produse de acestea. În acest context, înțelegerea se construiește prin analiza mărimilor fizice și a relațiilor dintre ele care descriu evoluția și manifestarea fenomenelor. Activitățile din domeniul astronomiei oferă contexte în care elevii pot analiza fenomenele studiate, explorând și analizând date, ceea ce contribuie la aprofundarea înțelegerii și la stimularea interesului pentru studiul universului [190].

Atunci când în sala de clasă sunt aduse teme precum găurile negre și undele gravitaționale, astrofizica și învățarea fizicii se întâlnesc într-un mod deosebit de puternic. Aceste fenomene

cosmice, care exprimă în mod sugestiv complexitatea și frumusețea universului, nu doar că trezesc interesul și imaginația elevilor, ci creează și un cadru favorabil pentru abordarea conceptelor fundamentale ale fizicii moderne. Cercetările arată că elevii nu dețin, în mod spontan, o înțelegere științifică a conceptelor fundamentale din astronomie, iar progresul către explicații adecvate presupune construirea treptată a acestora, pe baza ideilor inițiale [168]. Dacă până nu demult aceste subiecte aparțineau aproape exclusiv domeniului cercetării și al astronomiei, ele își găsesc astăzi locul și în programele școlare. Introducerea lor în studiul fizicii nu contribuie doar la apropierea de obiectivul major al științei, acela de a înțelege universul, ci oferă și experiențe de învățare mai bogate, deschizând elevilor accesul către forme actuale de explorare științifică.

Acest paragraf urmărește să pună în valoare modalități potrivite de a aborda, în cadrul lecțiilor de fizică, teme precum găurile negre și undele gravitaționale. Sunt vizate, pe de o parte, natura și caracteristicile acestor fenomene, iar pe de altă parte, modul în care pot fi explicate principii precum funcționarea interferometrelor, cu referire directă la rolul central al proiectului LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory*). Demersul are în vedere sprijinirea profesorilor în construirea unor situații de învățare mai vii și mai antrenante, în care interesul pe care aceste subiecte îl trezesc să fie valorificat pentru o înțelegere mai profundă a fizicii. Astfel, prin analiza contribuției LIGO la detectarea undelor gravitaționale și prin apropierea de complexitatea fenomenului găurilor negre, sunt conturate direcții concrete prin care aceste teme, deși avansate, pot deveni accesibile și atractive în cadrul studiului fizicii.

În acest cadru, abordarea unor teme precum găurile negre și undele gravitaționale evidențiază modul în care înțelegerea se construiește treptat, prin implicarea activă a elevului în raport cu conținutul. Integrarea acestor elemente de astrofizică susține înțelegerea prin conectarea ideilor, a relațiilor și a explicațiilor, iar interesul pe care aceste fenomene îl generează devine un suport pentru aprofundarea înțelegerii și pentru apropierea de modul de gândire specific fizicii.

Caracteristicile găurilor negre. Găurile negre sunt unele dintre cele mai enigmatice și fascinante fenomene ale universului. Ele marchează regiuni ale spațiu-timpului unde gravitația este atât de intensă încât nici măcar lumina nu poate scăpa. Pentru a înțelege cum ia naștere o gaură neagră, este necesar să urmărim etapele prin care trece o stea de-a lungul vieții sale [186].

Etapele evoluției stelare. O stea parcurge mai multe faze înainte de a se transforma într-o gaură neagră:

- Secvența principală: aceasta este perioada stabilă și de lungă durată a steii, asemănătoare cu cea a Soarelui nostru. În nucleu are loc fuziunea hidrogenului în heliu, iar presiunea radiației generate contrabalansează atracția gravitațională.

- Gigantă roșie: după ce hidrogenul din nucleu se epuizează, steaua se dilată și devine o gigantă roșie. Nucleul se contractă și se încălzește, declanșând fuziunea heliului și a altor elemente mai grele, în timp ce straturile externe se extind spectaculos.
- Supernovă: pentru stelele cu o masă de cel puțin opt ori mai mare decât cea a Soarelui, nucleul își epuizează combustibilul nuclear și colapsează. Această prăbușire produce o explozie de supernovă, care aruncă straturile externe în spațiu cu o forță extraordinară.
- Formarea găurii negre: dacă masa nucleului rămas depășește aproximativ 2,5–3 mase solare (limita Tolman-Oppenheimer-Volkoff), colapsul gravitațional continuă până la formarea unei singularități care este un punct de densitate infinită înconjurat de un orizont al evenimentelor. *Praguri de masă și destine stelare.* Pentru ca o stea să devină o gaură neagră, masa sa inițială trebuie să depășească aproximativ 8 mase solare. Stelele sub acest prag au alte destine:
- Dacă nucleul rămas după supernovă are între 1,4 și 2,5 – 3 mase solare, rezultatul este o stea neutronică, un obiect extrem de dens, alcătuit în principal din neutroni.
- Dacă masa nucleului este sub 1,4 mase solare (limita Chandrasekhar), steaua devine o pitică albă. Astfel, Soarele nostru, având masă insuficientă, va trece prin faza de gigantă roșie și va sfârși ca pitică albă.

Proprietățile fundamentale ale găurilor negre. Două caracteristici definitorii ale unei găuri negre sunt:

- Raza Schwarzschild: granița critică unde gravitația este atât de intensă încât nici lumina nu poate scăpa. Pentru o gaură neagră cu masa de trei ori mai mare decât masa Soarelui, $r_s = \frac{2GM}{c^2} \approx 8,87 \text{ km}$.
- Densitatea: definită ca masa împărțită la volum. Pentru aceeași gaură neagră, densitatea este $\rho = \frac{3M}{4\pi r_s^3} \approx 1,82 \times 10^{18} \text{ kg/m}^3$, depășind densitatea oricărui material cunoscut.

Unul dintre cele mai cunoscute exemple de găuri negre este Sagittarius A*, gaura neagră supermasivă aflată în centrul galaxiei Calea Lactee. Se estimează că are o masă echivalentă cu aproximativ 4 milioane de sori. Un alt exemplu important este gaura neagră din galaxia **M87**, care a fost observată direct cu ajutorul Telescopului Event Horizon, oferind astfel prima dovadă vizuală a existenței unei găuri negre. Aceste două cazuri evidențiază importanța găurilor negre pentru înțelegerea dinamicii galaxiilor și a structurii universului. În plus, cea mai apropiată gaură neagră cunoscută se află în sistemul HR 6819, din constelația Telescopium (vezi Fig. 3.2), la aproximativ 1.120 ani-lumină de Pământ.



Fig. 3.2. Cea mai apropiată gaură neagră, marcată cu un cerc roșu.

În cazul găurilor negre, înțelegerea se formează prin urmărirea etapelor evolutive ale stelei și prin raportarea acestora la condițiile fizice care determină transformarea sa. Relațiile dintre masă, densitate și câmp gravitațional nu sunt prezentate izolat, ci în legătură cu procesele care conduc la formarea găurii negre.

Caracteristicile undelor gravitaționale. Ideea existenței undelor gravitaționale a fost formulată pentru prima dată de Albert Einstein în 1916, în cadrul teoriei relativității generale. Potrivit acesteia, obiectele masive aflate în mișcare accelerată pot perturba structura spațiu-timpului, generând unde care se propagă spre exterior. Chiar și în aceste condiții, Einstein a manifestat rezerve cu privire la posibilitatea detectării lor, având în vedere efectele extrem de mici pe care le produc.

Undele gravitaționale reprezintă perturbații ale spațiu-timpului care se propagă prin univers și sunt generate de accelerarea unor corpuri foarte masive, precum stelele neutronice sau găurile negre. Ele pot fi asociate, prin analogie, cu undele produse la suprafața apei atunci când este aruncată o piatră, cu diferența esențială că, în acest caz, propagarea are loc în însăși structura spațiu-timpului, determinând variații ale distanțelor dintre obiecte pe măsură ce undele traversează spațiul.

În mod obișnuit, aceste unde sunt produse în urma unor fenomene de mare amploare, care implică mase considerabile, cum ar fi:

- Fuziunea a două găuri negre,
- Coliziunea stelelor neutronice,
- Sau explozia unei supernove.

În esență, undele gravitaționale apar atunci când două obiecte masive se află în mișcare orbitală unul în jurul celuilalt, fenomen comparabil cu mișcarea patinatorilor care își măresc viteza pe măsură ce se apropie, energia fiind emisă sub forma unor perturbații ale spațiu-timpului.

Parametrii de bază ai undelor gravitaționale.

Amplitudinea este descrisă de relația:

$$A = \frac{4GM_1M_2}{c^4R} = \frac{\Delta L}{L} \sim 10^{-21} m$$

unde R reprezintă distanța la care are loc detecția, ΔL – variația distanței dintre două puncte, iar L – distanța inițială dintre acestea. De exemplu, undele gravitaționale detectate pentru prima dată în 2015, descoperire recunoscută prin Premiul Nobel în 2017, au avut o amplitudine de ordinul $10^{-21} m$ [1].

Frecvența caracteristică este dată de relația:

$$f = \frac{c^3}{GM}$$

unde c este viteza luminii, G – constanta gravitațională, iar M – masa sistemului care generează undele. În funcție de frecvență, undele gravitaționale pot fi grupate în două categorii:

- Unde de frecvență înaltă, în intervalul 100 Hz – kHz,
- Unde de frecvență joasă, în intervalul nHz – μHz.

Dificultatea detectării rezultă din faptul că, deși transportă energie, aceste unde produc variații extrem de mici ale spațiu-timpului, ceea ce face ca observarea lor directă să fie deosebit de dificilă.

Astfel, descrierea undelor gravitaționale presupune utilizarea unor relații fizice și interpretarea parametrilor acestora, precum amplitudinea și frecvența, în raport cu sistemele care le generează. În acest context, înțelegerea nu se bazează pe percepția directă a fenomenului, ci pe caracterizarea lui prin mărimi fizice și relații deja cunoscute.

Principiul de funcționare al interferometrului LIGO. LIGO este o instalație revoluționară pentru detectarea undelor gravitaționale, care funcționează pe baza principiilor interferometriei. Spre deosebire de observatoarele tradiționale, care captează lumină, LIGO detectează distorsiunile subtile ale spațiu-timpului produse de evenimente cosmice masive. Acest lucru se realizează prin utilizarea unor fascicule laser ce parcurg tuburi lungi, vidate, dispuse în formă de L, ceea ce

permite identificarea undelor gravitaționale prin observarea modificărilor extrem de mici ale lungimii brațelor interferometrului. Principiul de funcționare LIGO este prezentat în Fig. 3.3.

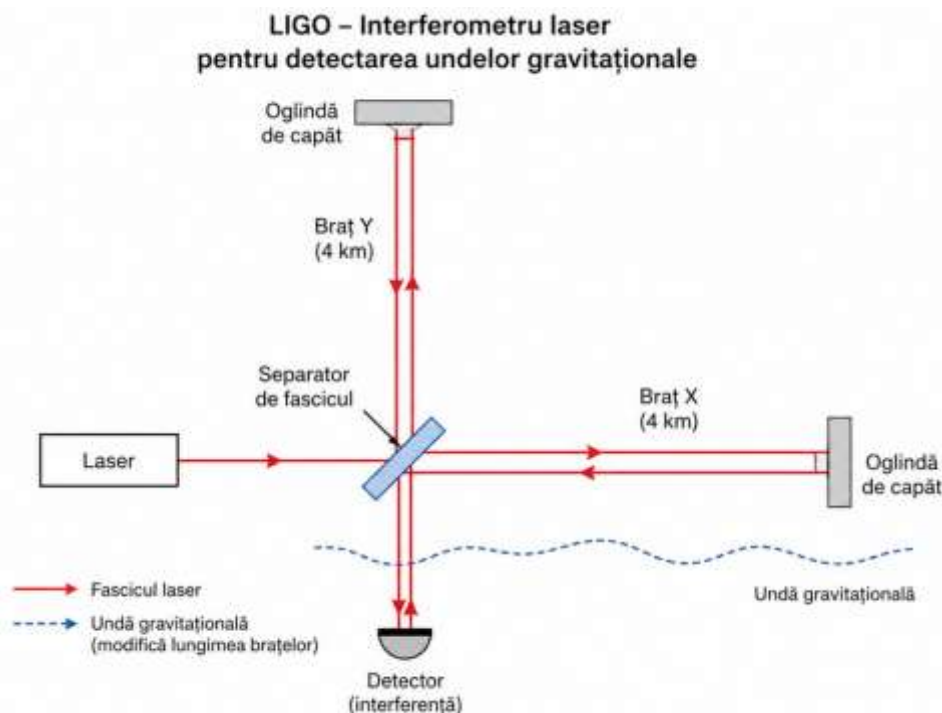


Fig. 3.3. Principiul de funcționare LIGO.

Pe 14 septembrie 2015, cele două facilități LIGO din Statele Unite—una la Hanford, Washington, și cealaltă la Livingston, Louisiana, separate prin 3.000 km—au detectat evenimentul GW150914, fuziunea a două găuri negre cu mase de 29 și 36 de mase solare [1]. Distanța dintre cele două observatoare este esențială, deoarece permite:

- triangularea precisă a sursei unde gravitaționale,
- reducerea zgomotului de fond, și
- confirmarea evenimentelor detectate.

Coliziunea a dus la formarea unei găuri negre cu masa de 62 de mase solare, iar diferența de 3 mase solare a fost convertită în energie sub formă de unde gravitaționale.

În interferometrie, modelul de interferență apare prin suprapunerea a două unde coerente, cu diferență de fază constantă și frecvențe aproape identice. Dacă frecvențele diferă, modelul devine instabil. La LIGO, fasciculul laser este împărțit în două fascicule perpendiculare, fiecare reflectat de o oglindă suspendată aflată la capătul unui braț. Fasciculele sunt apoi recombinate, iar modelul de interferență rezultat este analizat de o fotodiodă. În absența undelor gravitaționale, fasciculele se anulează reciproc la nivelul fotodiodei. Însă, atunci când o undă gravitațională traversează interferometrul, ea modifică ușor lungimea unuia dintre brațe, schimbând modelul de

interferență și permițând detectarea undei. LIGO poate detecta variații ale lungimii brațelor de ordinul 10^{-18}m —mult mai mici decât diametrul unui proton.

Rețeaua internațională de observatoare. Pe lângă primele două observatoare LIGO, există astăzi o rețea globală dedicată detectării undelor gravitaționale:

- GEO 600: situat lângă Hanovra, Germania, cu brațe de 600 m.
- LIGO India: operațional din 2020, extinde capacitatea globală de detecție.
- VIRGO: localizat la Pisa, Italia, cu brațe de 3 km, lansat în 2017. Are o sensibilitate de zece ori mai mare decât observatoarele LIGO din SUA.
- KAGRA: Observatorul Kamioka din Japonia, construit într-o mină subterană. Oglinzile interferometrului sunt răcite la 20 K pentru a minimiza zgomotul termic (agitația termică a componentelor fizice). Alte tipuri de zgomot care pot afecta sensibilitatea includ zgomotul seismic, optic și diverse interferențe de mediu.

Această rețea internațională de observatoare sporește semnificativ capacitatea de detectare și analizează a undelor gravitaționale, contribuind la o înțelegere mai profundă a universului.

În cazul interferometrului LIGO, cunoașterea se construiește prin explicarea modului în care variațiile extrem de mici ale lungimii brațelor sunt puse în evidență prin interferență. Relația dintre fenomenul studiat și semnalul detectat este stabilită prin descrierea funcționării sistemului și prin interpretarea modificărilor observate.

Din exemplele analizate se vede clar că aceste teme nu pot fi predate ca o succesiune de definiții și formule. Elevul nu vede fenomenul, nu îl poate verifica direct și, dacă nu este ghidat, rămâne doar cu fragmente de informație fără legătură între ele. La găurile negre trebuie urmărită evoluția stelei, la undele gravitaționale trebuie înțelese mărimile și relațiile, iar la interferometrul LIGO trebuie explicat cum apare semnalul dintr-o variație extrem de mică. Fiecare dintre aceste situații cere un mod de lucru în care ideile sunt legate între ele pas cu pas. De aici apare necesitatea de a organiza lecția astfel încât elevul să fie condus prin aceste legături, nu doar să le primească gata formulate.

3.2.2 Cadrul de organizare a învățării în lecția de fizică

Trecerea de la teme precum găurile negre și undele gravitaționale la activitatea de la clasă poate părea dificilă. Totuși, aceste conținuturi au un potențial didactic real, deoarece trezesc interesul elevilor și îi motivează să înțeleagă fenomenele fizice. Integrarea lor în lecțiile de fizică permite valorificarea acestui interes în direcția înțelegerii conceptelor și a relațiilor fizice.

Valorificarea acestor conținuturi la clasă deschide un câmp mult mai larg decât simpla prezentare a unor noțiuni. Elevii ajung să aprofundeze concepte fundamentale precum masa, densitatea, câmpul gravitațional, unda, energia sau frecvența, nu în mod izolat, ci în contexte care

le dau sens. În același timp, aceste teme permit aplicarea cunoștințelor dobândite anterior, de exemplu din studiul interacțiunilor sau al opticii ondulatorii, în situații noi, care nu mai sunt de tip standard.

Lucrul pe astfel de conținuturi creează cadrul pentru activități de tip investigativ. Studiul unor situații precum funcționarea interferometrului LIGO poate fi utilizat pentru a organiza demersuri apropiate de cercetarea științifică, de la formularea unor ipoteze până la interpretarea rezultatelor. În acest context, elevii lucrează cu date, le analizează și le interpretează, depășind nivelul descriptiv al învățării.

În același timp, aceste teme solicită o abordare interdisciplinară, în care cunoștințele de fizică sunt corelate cu elemente de matematică și astronomie, iar explicarea fenomenelor devine un exercițiu de integrare. Comunicarea rezultatelor, lucrul în echipă și discutarea explicațiilor propuse devin părți firești ale activității, contribuind la clarificarea ideilor și la utilizarea unui limbaj științific adecvat.

Nu în ultimul rând, caracterul spectaculos al acestor fenomene susține curiozitatea elevilor și îi determină să exploreze mai departe, dincolo de cerințele imediate ale lecției. În acest fel, învățarea nu se încheie odată cu activitatea din clasă, ci se prelungește în interesul pentru înțelegerea fenomenelor și pentru continuarea studiului.

În același timp, așa cum s-a arătat în secțiunea anterioară, aceste conținuturi nu pot fi abordate prin prezentare directă, deoarece înțelegerea lor nu se bazează pe observarea fenomenului, ci pe interpretarea relațiilor și a modelelor. Din acest motiv, modul de organizare a învățării devine esențial.”

În aceste condiții, învățarea nu mai înseamnă doar acumularea de informații, ci presupune lucrul efectiv cu ideile fizicii. Elevul este pus în situația de a utiliza concepte precum masă, densitate, frecvență sau energie în contexte noi, de a interpreta relații și de a explica fenomene care nu sunt direct accesibile. Acest mod de lucru permite nu doar înțelegerea conținutului, ci și dezvoltarea unui mod de gândire specific fizicii [100].

Organizarea învățării în acest context poate fi înțeleasă ca o trecere treptată de la implicarea directă a elevului în activitate către autonomia în învățare, susținută prin ghidarea profesorului. Această succesiune este ilustrată în Fig. 3.4.



Fig. 3.4. Structura constructivistă a învățării și rolul eșafodajului în lecția de fizică.

Structura prezentată în Fig. 3.4 arată modul în care se construiește treptat învățarea în lecția de fizică. La bază se află implicarea directă a elevului în activitate, prin sarcini concrete în care acesta lucrează efectiv cu ideile și relațiile fizice. Pe acest fundament se dezvoltă înțelegerea, prin conectarea noilor informații la ceea ce elevul știe deja și prin formularea de explicații. În etapa următoare intervine eșafodajul, prin care profesorul sprijină acest proces prin întrebări, explicații parțiale și corecții, fără a înlocui activitatea elevului. În acest context subliniem că activitatea elevului nu poate fi separată de ghidarea profesorului, fără de care nu poate fi asigurată o învățare eficientă [43]. Pe măsură ce înțelegerea se consolidează, sprijinul se reduce, iar elevul ajunge să lucreze mai autonom, utilizând ceea ce a învățat în situații noi.

Un astfel de demers presupune organizarea lecției în jurul unor situații de investigare, în care elevul analizează, formulează explicații și le discută. Cercetările arată că implicarea elevului în activități de tip investigativ contribuie la dezvoltarea înțelegerii, însă eficiența acestor activități depinde de ghidarea oferită de profesor [155].

În acest context, rolul profesorului nu se reduce la transmiterea informației, ci constă în orientarea procesului de învățare, prin întrebări, explicații parțiale și corecții succesive. Fără această ghidare, efortul cognitiv al elevului nu conduce automat la înțelegere, fiind necesar un feedback constant care să susțină progresul [102].

Pe această bază, organizarea învățării poate fi descrisă ca o trecere treptată de la activitatea ghidată către autonomia elevului, care nu apare spontan, ci se formează progresiv în cadrul activității de învățare, pe măsura implicării și orientării elevului în raport cu cerințele acesteia [63]. Această structură presupune un mediu activ de învățare, sprijinirea progresivă a elevului și

transferul treptat al responsabilității către acesta, elemente caracteristice mediilor de învățare constructiviste [49]. Relația dintre activitatea experimentală și calitatea cunoștințelor elevilor la fizică a fost investigată încă din anii '90 de Davidenko [212], care a demonstrat că sarcinile experimentale structurate contribuie direct la creșterea nivelului și calității cunoștințelor elevilor, o concluzie pe care prezenta cercetare o reconfirmă și o extinde prin analiza statistică a datelor colectate la capitolul „Electrocinetica”.

Aceste repere pot fi concretizate printr-un set de principii de organizare a lecției, prezentate în Fig. 3.5.



Fig. 3.5. Principiile de bază de organizare a învățării prin cercetare ghidate de profesor.

Principiile prezentate conturează un mod de organizare a lecției în care elevul devine participant activ în procesul de învățare, fiind implicat în explorare și analiză. În același timp, această activitate nu se desfășoară independent de profesor, ci în condițiile unei ghidări constante, care orientează efortul elevului și susține formularea explicațiilor. Propunerea unor situații deschise de analiză, raportate la probleme reale, precum și valorificarea discuțiilor din clasă contribuie la clarificarea ideilor și la consolidarea înțelegerii. Pe măsură ce elevii își dezvoltă capacitatea de analiză și investigare, se creează condițiile pentru o autonomie tot mai mare în învățare. Eficiența acestui mod de organizare depinde însă de aplicarea sa constantă în lecții și de introducerea timpurie a unui astfel de mod de lucru, astfel încât elevii să se obișnuiască treptat cu un mediu de învățare bazat pe investigare. În această perspectivă, implicarea elevilor în formularea întrebărilor, elaborarea ipotezelor și construirea explicațiilor nu reprezintă doar o strategie didactică, ci expresia funcționării efective a constructivismului în activitatea de învățare [59].

3.3. Analiza empirică a impactului abordărilor constructiviste în învățarea fizicii

3.3.1. Impactul abordărilor constructiviste asupra performanței școlare și relațiilor dintre variabilele de evaluare în gimnaziu și liceu

În continuarea cadrului teoretic și metodologic construit în secțiunile anterioare, este realizată o analiză empirică a modului în care abordările constructiviste se reflectă în performanța școlară a elevilor la fizică [36]. Această analiză urmărește nu doar nivelul rezultatelor obținute, ci și relațiile dintre diferitele componente ale evaluării, precum și variațiile acestora în funcție de nivelul de studiu. În acest context, demersul investigativ este orientat spre identificarea unor regularități care să evidențieze rolul organizării învățării în configurarea rezultatelor elevilor.

Obiectivele acestei cercetări sunt structurate pe trei niveluri principale:

- Analizarea impactului combinat al metodelor constructiviste: studierea efectului unei combinații de metode constructiviste asupra succesului academic al elevilor de clasele a șasea, a opta și a zecea în studiul fizicii.
- Determinarea corelației: stabilirea existenței unei corelații între notele obținute la lucrările de laborator și cele primite la evaluările sumative.
- Evidențierea diferențelor de gen: scoaterea în evidență a diferențelor de gen între băieți și fete în studiul fizicii și modul în care aceste diferențe variază odată cu înaintarea în vârstă.

Astfel, pe baza acestor trei obiective putem formula întrebările și ipotezele de cercetare (vezi Tab. 3.2).

Tabelul 3.2. Obiectivele, întrebările și ipotezele cercetării.

Obiectiv	Întrebarea de cercetare (IC)	Ipoteza de cercetare (H)
Analiza impactului	IC₁: Cum variază notele elevilor la fizică de la clasa a șasea la clasa a zecea (respectiv, de la elevi mai tineri la elevi mai în vârstă), în condițiile aplicării predării constructiviste?	H₁: În contextul predării constructiviste, elevii de liceu tind să aibă performanțe mai bune la fizică în comparație cu elevii din gimnaziu.
Determinarea corelației	IC₂: Există o corelație între notele obținute la lucrările de laborator și cele obținute la evaluările sumative la fizică?	H₂: Există o corelație pozitivă semnificativă între notele obținute la lucrările de laborator și cele obținute la evaluările sumative la fizică.
Evidențierea diferențelor de gen	IC₃: Există diferențe de performanță între băieți și fete în studiul fizicii?	H₃: Sunt diferențe clare între performanța băieților și a fetelor în studiul fizicii.

Eșantionul de cercetare. Cercetarea a fost desfășurată pe parcursul întregului an școlar 2023-2024 la instituția publică liceul teoretic „Hyperion” din Chișinău, Republica Moldova.

Studiul a inclus un eșantion total de 195 de elevi, repartizați astfel:

- Clasa a VI-a: Trei clase (93 de elevi, cu vârsta de 12 ani), dintre care 50 de fete și 43 de băieți.
- Clasa a VIII-a: Două clase (72 de elevi, cu vârsta de 14 ani), dintre care 41 de fete și 31 de băieți.
- Clasa a X-a: O clasă (30 de elevi, cu vârsta de 16 ani), dintre care 21 de fete și 9 băieți.

S-a utilizat o selecție aleatorie a eșantionului, participanții fiind incluși pe baza înscrierii lor în clasele respective, fără a se aplica criterii suplimentare de includere sau excludere.

Populația elevilor provine predominant din familii cu venituri medii, cu o minoritate din gospodării cu venituri mai mici. Eșantionul reflectă contextul educațional specific instituției în care s-a desfășurat cercetarea, iar rezultatele obținute trebuie interpretate în limitele acestui context, fără a fi generalizate la ansamblul instituțiilor de învățământ.

Instrumentele de cercetare. Pentru a atinge scopurile acestei cercetări, au fost analizate rezultatele obținute de elevii participanți la studiu atât la lucrările de laborator desfășurate pe tot parcursul anului școlar cât și la evaluările sumative administrate la finalul fiecărui capitol.

În Tabelul 3.3 este prezentat numărul de ore alocate în fiecare clasă, numărul lucrărilor de laborator și evaluările sumative organizate conform planului de învățământ.

Tab. 3.3. Distribuția orelor, lucrărilor de laborator și evaluărilor sumative pe clase.

Clasa	Nr. de ore alocate	Lucrări de laborator	Evaluări sumative
a VI-a	34	4	5
a VIII-a	68	4	4
a X-a	68	5	4

Evaluările sumative au constat în teste scrise concepute pentru a evalua înțelegerea de către elevi a: definițiilor, unităților de măsură, abilităților de rezolvare de probleme și aplicării conceptelor predate (vezi Anexele 10. a, b, c). Fiecare test a inclus 5-7 itemi, acoperind o diversitate de tipuri: întrebări Adevărat/Fals, cu alegere multiplă, de completare, două probleme cu nivele diferite de dificultate și sarcini de analiză a unei situații-problemă sau de extragere a informațiilor dintr-un grafic. Această structură a vizat evaluarea cunoașterii factuale, a cunoașterii procedurale și a înțelegerii conceptuale. La evaluările sumative s-a aplicat o scară de 10 puncte, utilizându-se note exprimate în numere întregi.

Lucrările de laborator au urmat strict programa școlară [67] și s-au concentrat pe experimentarea practică (*hands-on experimentation*), având ca scop dezvoltarea abilităților experimentale, procedurale și analitice ale elevilor. Fiecare laborator a fost structurat în două etape:

- Etapa de lucru în grup: a constat din efectuarea experimentului și colectarea datelor realizate în grupuri de câte patru elevi.

- Etapa de raportare (individual): Calcularea mărimilor indirecte, formularea concluziilor și întocmirea raportului final.

Evaluarea lucrărilor de laborator s-a bazat pe: acuratețea calculelor, precizia execuției, calitatea analizei datelor și formularea concluziilor finale (vezi Anexa 11).

Menționăm că toate evaluările și lucrările de laborator au fost efectuate în timpul lecțiilor, având o durată de o oră academică.

Programul de intervenție didactică. Lecțiile de fizică în toate clasele implicate în studiu au fost desfășurate utilizând modelul 5E [35], în care au fost integrate elemente din metodologia Clasa inversată [14] și Abordarea timpurie a fizicii (*Early Physics Approach*) [26]. Această metodă de predare a fost aplicată pe tot parcursul anului școlar, clasele participante întâlnindu-se prima dată cu ea.

Structura lecției integrate (vezi Anexa 12)

Înainte de fiecare lecție de fizică, elevii aveau sarcina de a:

- viziona un filmuleț video de cca 15 minute de pe platforma <https://educatieonline.md/>;
- citi lecția din manual;
- răspunde la două-trei întrebări de control.

Fiecare capitol este structurat în unități de învățare cu o durată de două sau trei ore. Prima oră a fiecărei unități de învățare utilizează îmbinarea din cele trei metode menționate anterior (5E, Clasa inversată, Abordarea timpurie a fizicii), în timp ce orele rămase se concentrează pe aprofundarea înțelegerii conceptuale prin rezolvarea de probleme și analiza situațiilor de problemă.

Subliniem că integrarea metodei Clasa inversată în lecțiile tradiționale organizate după modelul 5E modifică doar primele două etape ale lecției:

- Faza de Implicare (*Engagement*): elevii participă mai activ la lecție și își exprimă opiniile, deoarece datorită studiului preliminar ei cunosc deja subiectul.
- Faza de Explicare (*Explanation*): elevii discută și clarifică noțiunile noi, aceasta permițându-i profesorului să adopte un rol mai mult de facilitator în ghidarea discuțiilor din clasă.

Interacțiunea și feedback-ul. La această etapă a studiului putem afirma că aplicarea metodei Clasa inversată crește numărul interacțiunilor din clasă. Totuși, accentul este pus pe calitatea interacțiunilor elev-profesor în timpul orelor de fizică. Această interacțiune este similară cu învățarea bazată pe feedback sau învățarea interactivă observată în alte contexte, adică a unui dirijor și orchestrei care își răspund cu atenție unul altuia în timpul concertului, elevul și profesorul în ora de fizică formează un oscilator armonic indivizibil care funcționează prin trei faze distincte: solicitare (*Elicitation*), răspuns (*Response*) și feedback (Wallace & Donovan, 2006).

Acest lucru reflectă esența teoriei IPV: pe de o parte, obiectivele didactice stabilite de profesor sunt înțelese și asumate de elev, în timp ce, pe de altă parte, profesorul obține o perspectivă asupra modului în care elevul asimilează noile concepte [105]. Se acordă o mare importanță feedback-ului în lecțiile de fizică – acesta trebuie să fie continuu, imediat și reciproc, deoarece feedback-ul modelează atitudinea elevului față de învățare [37].

Pe parcursul tuturor celor cinci faze ale lecției, au fost aplicate principiile Abordării timpurii a fizicii, care includ:

1. învățarea ghidată sau eșafodajul;
2. activitățile interactive;
3. integrarea cunoștințelor;
4. utilizarea reprezentărilor multiple.

Aplicarea consecventă a metodei Clasa inversată facilitează, de asemenea, învățarea ghidată. Nu putem ghida eficient un elev care nu deține un nivel minim de cunoștințe *a priori*, interes și motivație. În plus, utilizarea abordării Clasa inversată oferă un câștig de timp prețios, care este alocat analizei situațiilor-problemă. Acest lucru creează oportunități de integrare a diverselor segmente de cunoștințe, contribuind astfel la formarea unei înțelegeri conceptuale coerente.

Subliniem că, pentru a spori interactivitatea, orele de fizică includ experimente demonstrative din laboratorul școlii, alături de activități pe platforme educaționale precum *phet.colorado*, *vascak.cz*, *fizichim.ro* și *educatieinteractiva.md*. Aceste platforme sunt, de asemenea, utilizate de elevi ca instrumente pentru pregătirea lor în vederea lucrărilor de laborator.

Un alt aspect central al modelului integrat este aplicarea conceptului Ideilor Științifice Mari, ISM (*Big Scientific Ideas*) [100] prin intermediul evaluării formative, care presupune adresarea a două sau trei întrebări conceptuale pe parcursul unei lecții. Astfel, această metodă simplifică asimilarea unor fragmente mici de informații, fiind aliniată cu principiul Practicii distribuite (*Distributed Practice*) sau al Învățării intercalate (*Interleaved Learning*). Această strategie este una dintre cele mai eficiente tehnici de învățare, deoarece încorporează o combinație de strategii performante:

- secvențe scurte de lecție în care sunt introduse unul sau două concepte noi;
- învățarea recurentă sau revizuirea periodică a materialului;
- sesiuni de învățare eșalonate în timp sau învățarea prin asimilarea de porțiuni mici de informație pentru a preveni supraîncărcarea cognitivă [73].

Eficacitatea testării prin practică (*practice testing*), care se bazează pe evaluări formative frecvente și pe feedback imediat după teste, subliniază importanța interactivității în clasă și a feedback-ului continuu [103].

În concluzie, programul nostru combină practic lucrul de laborator cu simulările și elementele de Clasă inversată. Într-adevăr, conform altor cercetări, predarea la nivel de gimnaziu și liceu ar avea un impact mai mare asupra înțelegerii conceptuale dacă s-ar realiza un echilibru între experiment și observare, contextualizare și utilizarea de materiale video și simulări [17].

Colectarea și analiza datelor. Tabelul 3.4 prezintă statistica descriptivă pentru mediile notelor obținute de elevii de clasa a șasea pe parcursul anului școlar, atât la lucrările de laborator, cât și la evaluările sumative. Reieșind din valorile scăzute ale asimetriei (*skewness*), putem afirma că distribuția datelor este aproape simetrică. Cu toate acestea, analizând valorile generale ale asimetriei, combinate pentru fete și băieți, se observă o asimetrie negativă mai pronunțată pentru ambele tipuri de note (laborator și evaluare).

Această asimetrie negativă înseamnă că:

- există o asimetrie spre stânga, sau
- notele sunt deplasate spre partea dreaptă a graficului, ceea ce indică faptul că notele mai mari, de peste șapte, sunt mai răspândite în rândul elevilor.

Tabelul 3.4. Statistica descriptivă pentru clasa a VI-a.

	Rezultate laborator			Rezultate ev. sumative		
	Total	Fete	Băieți	Total	Fete	Băieți
Participanți	93	50	43	93	50	43
Mediana	7,00	7,00	7,00	7,20	7,25	6,80
Media	7,11	7,34	6,84	7,00	7,31	6,64
Deviația Standard	1,37	1,21	1,50	1,16	0,98	1,26
Asimetria	-0,006	0,046	0,157	-0,335	0,169	-0,316
Eroarea Std. asimetrie	0,250	0,337	0,361	0,250	0,337	0,361
Nota minimă	4,30	4,30	4,30	3,80	5,00	3,80
Nota maximă	10,00	10,00	9,80	9,60	9,60	9,20

Tabelul 3.5. prezintă statistica descriptivă pentru mediile notelor obținute de elevii de clasa a opta pe parcursul anului școlar la lucrările de laborator și la evaluările sumative. Comparativ cu datele din clasa a șasea, valorile asimetriei sunt mai ridicate și rămân negative pentru toate cazurile analizate. Prin urmare, mediile notelor înregistrate în clasa a opta sunt mai mari decât cele din clasa a șasea. Acest lucru este de asemenea evident și confirmat de valorile mediei, mediane, precum și de valorile minime și maxime pentru aceste note.

Tabelul 3.5. Statistica descriptivă pentru clasa a VIII-a.

	Rezultate laborator			Rezultate ev. sumative		
	Total	Fete	Total	Fete	Total	Fete
Participanți	72	41	31	72	41	31
Mediana	7,90	8,00	7,80	7,50	8,00	7,30
Media	7,78	7,98	7,50	7,56	7,88	7,13
Deviația Standard	1,368	1,257	1,479	1,305	1,290	1,214
Asimetria	-0,193	-0,169	-0,072	-0,103	-0,267	-0,019
Eroarea Std. asimetrie	0,283	0,369	0,421	0,283	0,369	0,421
Nota minimă	5,00	5,50	5,00	5,00	5,00	5,30
Nota maximă	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,30

Tabelul 3.6 prezintă statistica descriptivă pentru mediile notelor obținute de elevii de clasa a zecea pe parcursul anului școlar, atât la lucrările de laborator, cât și la evaluările sumative.

Tabelul 3.6. Statistica descriptivă pentru clasa a X-a.

	Rezultate laborator			Rezultate ev. sumative		
	Total	Fete	Total	Fete	Total	Fete
Participanți	30	21	9	30	21	9
Mediana	8,30	8,20	8,40	7,00	7,00	6,70
Media	8,27	8,30	8,22	7,38	7,35	7,46
Deviația Standard	0,972	0,873	1,231	1,141	1,074	1,353
Asimetria	-0,054	-0,062	0,022	0,514	0,466	0,597
Eroarea Std. asimetrie	0,427	0,501	0,717	0,427	0,501	0,717
Nota minimă	6,40	6,60	6,40	5,70	5,70	6,00
Nota maximă	10,00	10,00	10,00	9,50	9,50	9,50

Comparând rezultatele elevilor de clasa a zecea cu cele ale elevilor de clasa a șasea și a opta, se pot constata următoarele:

- valorile minime, medianele și mediile notelor au crescut.
- în cazul lucrărilor de laborator, asimetria (skewness) indică o distribuție aproape simetrică, majoritatea notelor fiind mai mari de șapte.
- în cazul evaluărilor sumative, valorile asimetriei arată că notele sunt distribuite mai uniform, rezultând o curbă de distribuție mai aplatizată, cu un vârf situat în intervalul notelor 6-8.

Compararea performanței academice între clase. Astfel, pe baza datelor din Tabelele 3.4-3.6 se pot prezenta următoarele rezultate comparative ale performanței academice între clase:

- Pentru lucrările de laborator: Media notelor obținute în clasa a opta este cu 9,4% mai mare decât cea din clasa a șasea și cu 6,3% mai mică decât cea din clasa a zecea.

- Pentru evaluările sumative: Media notelor obținute în clasa a opta este cu 8,0% mai mare decât cea din clasa a șasea și cu 2,4% mai mare decât cea din clasa a zecea.
- Calitatea academică (sau procentul de note mai mari de 8) este: 17,2% în clasa a șasea, 43,06% în clasa a opta și 33,3% în clasa a zecea.

Distribuția mediilor notelor obținute la lucrările de laborator pe parcursul anului școlar pentru clasele a VI-a, a VIII-a și a X-a este prezentată în Figura 3.6. Deoarece aceste diagrame confirmă normalitatea distribuției datelor, se poate afirma că are sens efectuarea analizei statistice a datelor, iar concluziile desprinse vor fi relevante și adecvate obiectivelor cercetării.

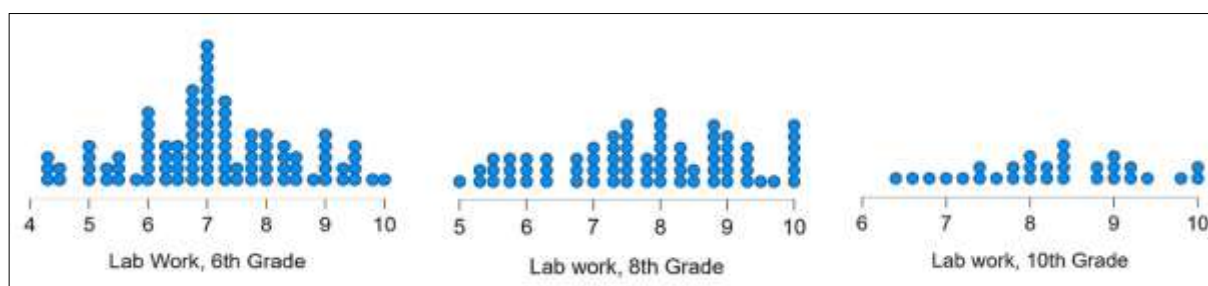


Fig. 3.6. Diagrama de dispersie pentru media notelor la lucrările de laborator.

Distribuția mediilor notelor obținute la evaluările sumative pe parcursul anului școlar pentru clasele a VI-a, a VIII-a și a X-a este prezentată în Figura 3.7. Putem sublinia faptul că Figurile 3.6 și 3.7 confirmă o asimetrie negativă mai pronunțată (skewness) în cazul evaluărilor sumative pentru clasele a șasea și a opta, și o valoare mai mare a asimetriei pentru clasa a zecea (ceea ce implică o distribuție mai uniformă sau aplatizată, conform celor menționate anterior).

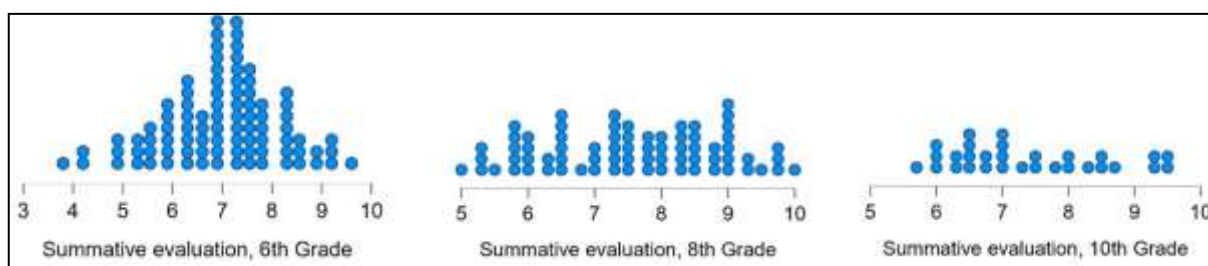


Fig.3.7. Diagrama de dispersie pentru media notelor la evaluările sumative.

Verificarea ipotezelor. Pentru a verifica ipoteza H_1 și pentru a observa modul în care performanța elevilor variază de la o clasă la alta, precum și tendințele pe parcursul anului școlar, vom analiza Tabelul 3.7. Acest tabel prezintă rezultatele evaluărilor sumative de la începutul anului școlar, media tuturor evaluărilor pe parcursul anului și variația succesului academic. Analiza se efectuează pe șase grupuri distincte de elevi, în funcție de nota obținută la ultima evaluare .

Tabelul 3.7. Evoluția succesului academic al elevilor pe parcursul anului.

Clasa, Nr. participanți	Nota de la ultima ev. sumativă	Nr. elevilor	Media tuturor evaluărilor	Media evaluării finale	Variația succesului academic
cl. 6, 95 elevi	“10”	9	8,31	8,66	+15,5%
	“9”	5	7,84	8,4	+ 7,1%
	“6”	11	6,21	6,63	–10,5%
	“5”	7	5,63	5,14	– 2,8%
cl. 8, 73 elevi	“10”	16	8,94	8,73	+14,5%
	“9”	17	8,35	8,59	+ 4,8%
	“6”	9	6,22	6,0	0,0%
	“5”	6	5,45	6,0	– 20,0%
cl. 10, 30 elevi	“10”	3	9,1	9,0	+11,1%
	“9”	7	8,34	7,29	+ 23,5%
	“6”	3	6,1	5,33	+12,6%
	“5”	0			

Din Tabelul 3.7, este evident că din cei 95 de elevi de clasa a șasea, 14 elevi (sau 14,7%) obțin scorul „zece” și „nouă”, în timp ce 18 elevi (sau 18,9%) obțin scorul „cinci” și „șase”. Din cei 73 de elevi de clasa a opta, 33 de elevi (sau 45,2%) obțin scorul „zece” și „nouă”, în timp ce 15 elevi (sau 20,5%) obțin scorul „cinci” și „șase”. Din cei 30 de elevi de clasa a zecea, 10 elevi (sau 33,3%) obțin scorul „zece” și „nouă”, în timp ce 3 elevi (sau 10,0%) obțin scorul „cinci” și „șase”.

Compararea transversală a cohortelor arată că elevii din clasele a VIII-a și a X-a obțin, în ansamblu, rezultate mai ridicate la fizică decât elevii din clasa a VI-a, aflați în primul an de studiu al disciplinei. Aceste diferențe descriu profilurile de performanță ale cohortelor analizate și nu reprezintă o evoluție longitudinală a acelorași elevi.

În ceea ce privește progresul individual al elevilor, rezultatele cercetării indică următoarele:

În gimnaziu elevii cu performanțe înalte își îmbunătățesc performanța academică pe parcursul anului școlar, în timp ce elevii cu performanțe scăzute înregistrează o scădere a acesteia.

În liceu performanța academică se îmbunătățește pe parcursul anului atât pentru elevii cu performanțe înalte, cât și pentru cei cu performanțe scăzute. Totuși, creșterea este de aproximativ

două ori mai mare pentru elevii cu performanțe înalte comparativ cu cei cu performanțe scăzute (23,5% vs. 12,6%).

Pentru a verifica ipoteza H_2 , s-a calculat coeficientul de corelație Pearson între notele obținute la lucrările de laborator și cele obținute la evaluările sumative pentru fiecare clasă. Scopul a fost de a determina cât de bine performanța de la laborator prezice rezultatele evaluărilor sumative. Tabelul 3.8 prezintă rezultatele calculării coeficientului Pearson r și ale valorilor de referință p pentru clasele a 6-a, a 8-a și a 10-a.

Tabelul 3.8. Corelațiile Pearson între lucrările de laborator și evaluările sumative.

Variabilă	Clasa	Pearson r	Valoarea p
Evaluare sumativă	a 6-a	0,747	<0,001
	a 8-a	0,836	<0,001
	a 10-a	0,656	<0,001

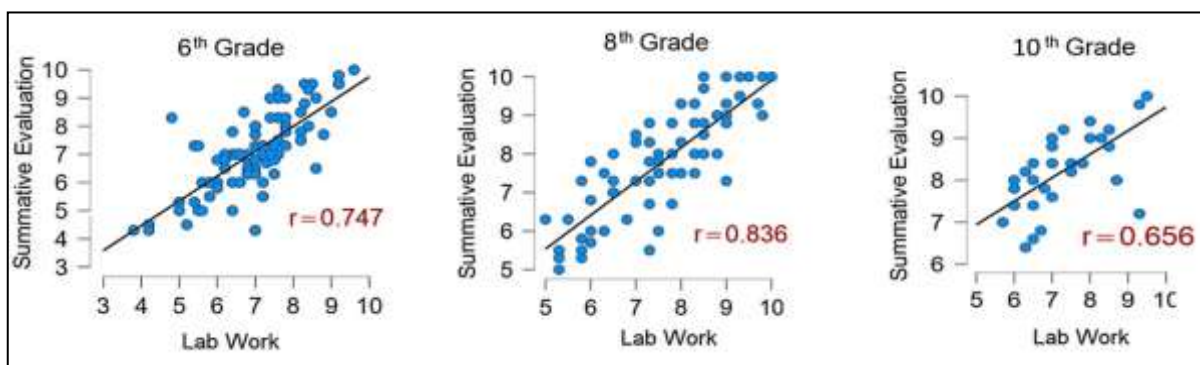
Deoarece valorile coeficientului r (Pearson's r) pentru clasele a șasea și a opta sunt pozitive și mai mari de 0,7, putem afirma cu încredere că există o relație foarte puternică între performanța elevilor la lucrul de laborator și performanța lor la evaluările sumative. Pentru clasa a zecea, avem o corelație puternică.

Pe baza acestor valori ale coeficientului de corelație Pearson, concluzionăm că, în general, elevii care obțin note mari la lucrarea de laborator tind să obțină note mari și la evaluările sumative. Cu toate acestea, este important să subliniem că, deși există o corelație puternică, aceasta nu implică neapărat cauzalitate. Cu alte cuvinte, notele de la laborator nu influențează neapărat notele de la evaluarea sumativă de la sfârșitul capitolului. Putem afirma doar că elevii care performează bine la lucrul de laborator tind să performeze bine și la evaluările sumative.

Pentru a vizualiza relația dintre notele obținute la lucrările de laborator și evaluările sumative, construim diagrama de dispersie (vezi Fig. 3.8), în care fiecare punct reprezintă un set de coordonate $(x; y)$, unde x este nota medie obținută de elev la lucrarea de laborator, iar y este nota medie de la evaluările sumative. Din diagrama de dispersie, pe baza pantei liniei de corelație, putem deduce vizual prezența unei corelații puternice între seturile de date examinate. De exemplu,

panta cea mai pronunțată este observată la clasa a 8-a, în timp ce în clasa a 10-a panta este mai moderată.

Fig. 3.8. Diagrama de dispersie pentru corelația dintre rezultatele evaluării sumative și



notele la lucrul de laborator.

Pentru a determina măsura în care notele de la laborator sunt asociate cu rezultatele evaluării sumative și pot prezice variația acestora, utilizăm analiza de regresie liniară. Rezultatele analizei sunt prezentate în Tabelul 3.9.

Tabelul 3.9. Regresia liniară între notele de la lucrările de laborator și notele la evaluarea sumativă.

Clasa	Modelul	R	R^2	R^2 ajustat
a 6-a	H_0	0,000	0,000	0,000
	H_2	0,747	0,558	0,554
a 8-a	H_0	0,000	0,000	0,000
	H_2	0,836	0,698	0,694
a 10-a	H_0	0,000	0,000	0,000
	H_2	0,656	0,431	0,410

Rezultatele analizei regresiei liniare arată că variabilitatea notelor obținute la evaluările sumative poate fi explicată prin notele obținute la lucrările de laborator în proporție de:

- Clasa a VI-a: 55,8%
- Clasa a VIII-a: 69,8%
- Clasa a X-a: 43,1%

Prin urmare, pe baza acestui model, putem afirma că notele de la lucrările de laborator sunt un predictor bun al notelor de la evaluările sumative. În plus, putem declara cu certitudine că ipoteza nulă privind absența corelației între lucrările de laborator și rezultatele evaluărilor sumative nu este susținută, iar ipoteza alternativă H_2 este confirmată.

Pentru a verifica ipoteza H_3 analizăm dacă există diferențe semnificative între performanța băieților și cea a fetelor, atât la lucrările de laborator, cât și la evaluările sumative. În acest scop, utilizăm Testul *t Student* pentru diferențe de gen (vezi Tabelul 3.10).

Tabelul 3.10. Testul *t Student* pentru diferențe de gen

Clasa		t	df	p
Clasa a 6-a	Evaluare Sumativă	2,877	91	0,005
	Lucrare de Laborator	1,789	91	0,077
Clasa a 8-a	Evaluare Sumativă	1,478	70	0,144
	Lucrare de Laborator	2,529	70	0,014
Clasa a 10-a	Evaluare Sumativă	-0,223	28	0,825
	Lucrare de Laborator	0,185	28	0,854

Astfel, conform Tab 3.10, testul *t* arată că:

- În clasele a VI-a și a VIII-a: Există diferențe semnificative de gen, fetele având performanțe mai bune decât băieții atât la evaluările sumative, cât și la lucrările de laborator.
- În clasa a X-a: Aceste diferențe nu sunt semnificative, iar valoarea negativă a coeficientului *t* indică faptul că băieții au performat ușor mai bine decât fetele la testele de evaluare sumativă de la sfârșitul capitolelor.

Reieșind din rezultatele obținute putem afirma că ipoteza alternativă H_1 este confirmată: Există o îmbunătățire semnificativă a notelor elevilor la fizică de la clasa a VI-a la clasa a X-a.

Notele mai mici din clasa a VI-a pot fi atribuite mai multor factori:

- Fizica este o disciplină nouă pentru elevii de clasa a VI-a.
- În clasele superioare, se observă rezultate academice mai ridicate în contextul aplicării consecvente a strategiilor constructiviste.
- Elevii din clasele a VIII-a și a X-a sunt obișnuiți cu stilul de predare al profesorului și sunt familiarizați cu așteptările și criteriile de succes.

În același timp, rezultatele obținute nu urmează tendința generală de scădere a succesului și interesului pentru fizică la nivelurile superioare de școlaritate, raportată în cazul unor abordări tradiționale sau convenționale. Rezultatele mai ridicate observate în cohorta de clasa a VIII-a comparativ cu cohorta de clasa a VI-a sunt compatibile, la nivel interpretativ, cu teoria IPV, care subliniază rolul profesorului și al organizării învățării în performanța academică [105]. Compararea dintre cohorte nu permite însă interpretarea acestor diferențe ca evoluție longitudinală a acelorași elevi.

Referitor la ipoteza alternativă H_2 subliniem că ea este confirmată deoarece există o corelație pozitivă semnificativă între notele obținute la lucrările de laborator și cele obținute la evaluările sumative la fizică. Astfel, această corelație este confirmată:

- Grafic: de Figura 3.8, unde în toate cele trei cazuri (clasele a VI-a, a VIII-a și a X-a), curbele teoretice au o pantă pozitivă semnificativă.
- Analitic: de rezultatele regresiei liniare: 55,4% din variabilitatea notelor de la evaluarea sumativă în clasa a VI-a este explicată de notele de la laborator; 69,4% în clasa a VIII-a; 41% în clasa a X-a.

Menționăm că aceste rezultate trebuie considerate calitative, deoarece precizia modelului depinde de mărimea eșantionului și de numărul de factori luați în considerare (în acest caz, a fost luat în considerare doar un singur factor). Ar fi interesant să se includă și alți factori, cum ar fi atitudinea, metacogniția, efortul cognitiv, aplicarea tehnologiei sau absențele (ca factor social) (vezi Fig. 3.9, unde succesul academic scade ușor odată cu creșterea numărului de absențe).

În general, acest rezultat evidențiază asocierea dintre acțiunea experimentală (Doing) și rezultatele învățării (Learning), reflectată în relația dintre performanța elevilor la lucrările de laborator și rezultatele obținute la evaluările sumative. Deși lucrărilor de laborator le este alocată doar o mică parte din totalul orelor de fizică, relația statistică identificată susține relevanța integrării lor sistematice în procesul de învățare. În această perspectivă, includerea mai frecventă a activităților experimentale și a elementelor ISMC poate constitui o direcție didactică relevantă pentru aprofundarea înțelegerii conceptuale și dezvoltarea identității elevilor în domeniul fizicii.

Pentru a verifica ipoteza H_3 examinăm variația diferențelor semnificative de gen în studiul fizicii prezentate în Tabelele 3.4-3.6 și Tabelul 3.10.

- Din Tabelele 3.4-3.6 concluzionăm că la lucrările de laborator rezultatele fetelor în clasele a VIII-a și a VI-a sunt cu aproximativ 7% mai bune decât cele ale băieților, iar la evaluările sumative sunt cu aproximativ 10% mai bune. În clasa a X-a, diferența dintre rezultatele băieților și cele ale fetelor este de doar 1%.
- Din Tabelul 3.10 tragem aceeași concluzie că valorile testului t indică diferențe de gen în clasele a VI-a și a VIII-a, și absența diferențelor în clasa a X-a (primul an de liceu în Moldova).

Astfel, ipoteza alternativă H_3 este confirmată pentru clasele de gimnaziu, dar nu și pentru eșantionul de liceu. Rezultatele indică diferențe de gen mai reduse în cohorta de liceu comparativ cu cohortele de gimnaziu, fără ca această comparație transversală să reprezinte o evoluție longitudinală a acelorași elevi.

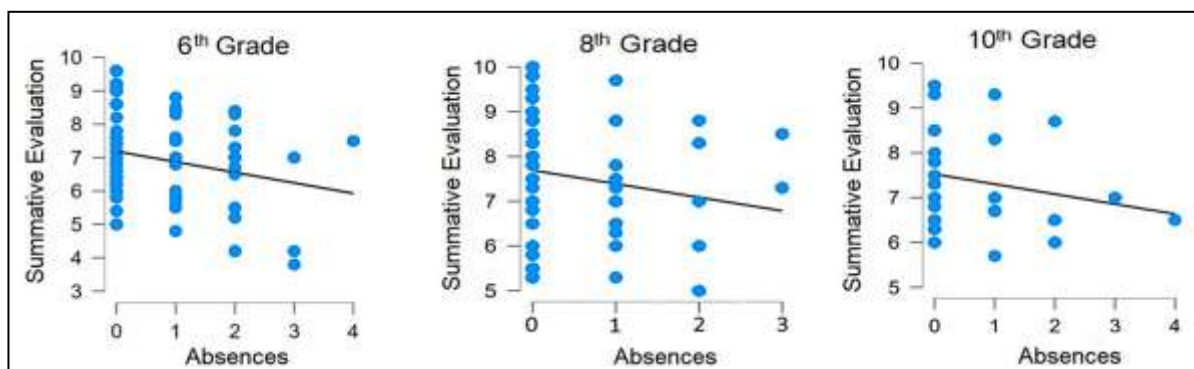


Fig. 3.9. Diagrama de dispersie (*Scatter Plot*) pentru corelația dintre notele de la evaluarea sumativă și absențe.

În încheiere la paragraful 3.3.1 dedicat cercetării efectului metodelor constructiviste de predare asupra rezultatelor învățării subliniem că s-a aplicat un mix de strategii didactice constructiviste, precum modelul 5E, Clasa inversată și Abordarea timpurie a fizicii. Menționăm că aceste strategii sunt recunoscute pentru efectul lor pozitiv asupra dezvoltării interesului elevilor pentru fizică (*physics identity*) [106]. De exemplu, etapele lecției 5E se bazează pe trei aporturi esențiale ale elevului în procesul de învățare: abilitatea, care include cunoștințele și competențele preexistente de lucru în laborator; voința – atitudinea față de conținut și aprecierea necesității sarcinii; și motivația care presupune asumarea și stabilirea obiectivelor învățării cu înțelegerea criteriilor de succes [103].

De asemenea, conceptul Abordării timpurii a fizicii urmărește depășirea lipsei competențelor științifice la elevi, prin alinierea predării la nevoile de învățare ale elevilor în primii ani de studiu ai fizicii [26]. În final, Clasa inversată pune accent pe efortul cognitiv al elevilor în afara lecției de fizică.

Observăm că identitatea în fizică este strâns legată de cunoașterea și înțelegerea conceptelor de fizică. Potrivit lui L. S. Vîgotski, predarea orientată spre formarea conceptelor științifice trebuie să aibă loc în zona dezvoltării proxime. Cu alte cuvinte, nu orice predare conduce la dezvoltare, ci doar acea predare care este apropiată de nivelul cognitiv al elevilor și este focalizată pe formarea abilităților științifice, care includ: colectarea și analiza datelor obținute în urma experimentelor, formularea de ipoteze și teorii pentru explicarea datelor, testarea și evaluarea acestor ipoteze, precum și utilizarea unor mijloace specifice pentru reprezentarea fenomenelor studiate și comunicarea ideilor. De fapt, toate acestea sunt etapele învățării științelor prin metoda cercetării, care are un caracter ciclic și este bazată pe proiecte [134].

Rezultatele obținute indică o asociere pozitivă între aplicarea strategiilor constructiviste în lecțiile de fizică și în lucrările de laborator și performanța academică a elevilor, constatată în

cohorte distincte și la niveluri diferite de școlaritate. Conform altor cercetări, tranziția de la lucrările de laborator tradiționale de tip „rețetă” la cele deschise, conform modelului pedagogic ESSENCE (Experimental problem-solving using Staging, Scaffolding, Embedded information sources, iNstruments, and Collaboration – Rezolvarea experimentală a problemelor prin etapizare, ghidare, surse de informații integrate, instrumente și colaborare), conduce la o îmbunătățire statistic semnificativă a competențelor de rezolvare experimentală a problemelor ale elevilor. Alte efecte menționate de elevi sunt creșterea înțelegerii conceptuale și realizarea legăturii dintre teorie și practică.

Un alt rezultat important al cercetării noastre este existența unei corelații pozitive semnificative între rezultatele lucrărilor de laborator și evaluările sumative de la finalul capitolului. Această corelație evidențiază asocierea dintre activitatea practică (Doing) și rezultatele învățării (Learning).

Rezultatele noastre arată că, în cohortele claselor a VI-a și a VIII-a, fetele obțin performanțe mai bune decât băieții atât la lucrările de laborator, cât și la evaluări. În cohorta clasei a X-a, diferențele de gen sunt mult mai reduse și nu sunt statistic semnificative. Astfel, conform rezultatelor cercetării noastre și altor studii, la nivel școlar, în special în gimnaziu, nu putem vorbi încă despre o cultură masculină a fizicii. În literatura de specialitate, atribuirea rolurilor în cadrul muncii de grup din laborator este menționată ca o modalitate de reducere a diferențelor de gen [74], modalitate utilizată și în organizarea activităților din cercetarea noastră.

În general, rezultatele nu indică un dezavantaj sistematic asociat genului în performanța elevilor la activitățile de laborator desfășurate într-un mediu constructivist. Conform rezultatelor noastre, la liceu performanța academică a crescut pe parcursul anului atât pentru elevii buni, cât și pentru cei cu performanțe mai slabe, însă în cazul elevilor buni creșterea a fost de aproximativ două ori mai mare. De asemenea, la nivelul elevilor cu performanțe mai scăzute la științe, media fetelor a fost mai bună decât cea a băieților și a prezentat o variație mai mică a scorurilor. Totuși, la nivelul elevilor cu performanțe ridicate, băieții au depășit fetele – rezultate care corespund celor obținute de Chang [55].

De asemenea, la nivel liceal, am constatat că băieții obțin scoruri medii mai mari la evaluări, iar fetele – scoruri mai mici, rezultate similare cu cele raportate în alte cercetări [188]. În pofida așteptărilor și stereotipurilor, conform rezultatelor noastre, atât pentru băieți, cât și pentru fete, fizica are o atribuire mai redusă de masculinitate. Acest rezultat este în concordanță cu alte cercetări [28].

3.3.2. Relația dintre performanța la lucrarea de laborator și succesul academic al elevilor în studierea electrocineticii

Un rol central în procesul de predare a fizicii îl dețin lucrările de laborator, care le permit elevilor să transpună în practică noțiunile teoretice învățate și, totodată, să își formeze competențe experimentale [45]. Cercetările din ultimii ani au scos în evidență multiple forme de organizare a acestor activități, precum și influența pe care o exercită asupra rezultatelor școlare ale elevilor. În continuare sunt prezentate trei modalități de bază de realizare a lucrărilor de laborator la fizică, împreună cu efectele lor asupra reușitei elevilor.

Laboratoarele orientate spre formarea deprinderilor experimentale. Studiul efectuat de grupul de cercetători condus de Cole Walsh [201] arată că acest tip de laboratoare influențează considerabil dezvoltarea gândirii critice a elevilor. O contribuție importantă la aceste progrese o au activitățile care încurajează atât luarea deciziilor cât și comunicarea, spre deosebire de laboratoarele clasice, concentrate exclusiv pe fixarea noțiunilor teoretice, nu produc aceleași rezultate. Prin urmare, astfel de laboratoare favorizează o asimilare mai temeinică a conceptelor fizice și formarea competențelor indispensabile reușitei academice.

Lucrările de laborator bazate pe învățarea prin cercetare. În cadrul acestor laboratoare elevii ajung să ia decizii și să își coordoneze singuri experimentele, fapt care determină o participare mai activă și cultivă sentimentul că le aparține procesul de învățare. Astfel, ei devin mai implicați, câștigă încredere și își asumă învățarea, ceea ce aprofundează înțelegerea și livrează rezultate academice mai bune [116].

Laboratoarele care stimulează învățarea activă și lucrul în echipă. În cadrul acestor laboratoare elevii desfășoară astfel de activități interactive, precum dezbaterile în grup și rezolvarea problemelor în colaborare, pentru a sprijini înțelegerea. Astfel de activități încurajează participarea elevilor prin punerea accentului pe cooperare și lucrul în echipă, contribuind la dezvoltarea deprinderilor de comunicare [201].

Felul în care sunt organizate lucrările de laborator influențează în mod considerabil rezultatele școlare ale elevilor la fizică. S-a constatat că laboratoarele centrate pe formarea deprinderilor experimentale, pe învățarea prin investigație și pe colaborarea activă în grupuri restrânse conduc la o mai bună înțelegere a conceptelor și la dezvoltarea gândirii critice a elevilor. Aplicând astfel de metode, cadrele didactice pot desfășura lecții de fizică care să încurajeze participarea activă, formarea competențelor de învățare și reușita academică [194].

Întrebarea de cercetare. Pornind de la rolul activității experimentale în învățarea fizicii și de la necesitatea examinării relației dintre performanța elevilor în laborator și rezultatele

academice, ne propunem să analizăm legătura dintre rezultatele obținute la lucrarea de laborator și cele obținute la evaluarea sumativă. În acest scop am formulat ipoteza nulă și ipoteza alternativă.

Scopul cercetării constă în examinarea legăturii dintre performanța elevilor la lucrarea de laborator și succesul academic al acestora.

Ipoteza nulă H_0 : „Nu există o relație semnificativă statistic între rezultatele elevilor la lucrarea de laborator și rezultatele evaluării sumative.”

Ipoteza alternativă H_1 : „Există o relație semnificativă statistic între rezultatele elevilor la lucrarea de laborator și rezultatele evaluării sumative.”

Metodologia cercetării. Studiul a analizat relația dintre rezultatele obținute la lucrarea de laborator „Determinarea puterii unui bec electric” și rezultatele evaluării sumative la capitolul „Fenomene electrice” în clasa a VIII-a. Investigația s-a desfășurat pe un eșantion format din 98 de elevi, inclusiv 58 de fete și 40 de băieți. Atât evaluarea sumativă, cât și lucrarea de laborator s-au organizat în manieră tradițională, potrivit metodologiei MEC. Fiecare elev a susținut evaluarea individual, aceasta fiind distribuită în două variante cu itemi care verifică atât înțelegerea teoriei, cât și deprinderile de rezolvare a problemelor la capitolul respectiv (vezi Anexa 13). Lucrarea de laborator a avut loc în cabinetul de fizică, echipat cu utilajul necesar, iar partea experimentală s-a realizat în grupuri de câte 5 elevi pentru colectarea directă a datelor; ulterior, dar fiecare elev a calculat individual datele indirecte și erorile și a formulat concluzia finală.

Punctajul pentru concluzia lucrării de laborator a fost acordat astfel:

0 puncte – concluzia lucrării de laborator nu a fost scrisă

1 punct – în concluzie se menționează doar scopul lucrării

2 puncte – elevul a prezentat independent partea experimentală (cei mai mulți au descris în detaliu ceea ce au efectuat în cadrul lucrării).

3 puncte – elevul a interpretat independent rezultatul final și erorile obținute (punctaj acordat pentru interpretarea rezultatului final și a erorilor comise).

Pentru concluzie elevii au fost punctați urmând instrucțiunile din referențialul de evaluare.

Rezultatele cercetării în laboratorul de fizică

Repartizarea numerică a notelor de la lucrarea de laborator, corelată cu punctajul primit pentru concluzia formulată, este cuprinsă în Tab. 3.11, unde valorile sunt exprimate în cifre absolute.

Tabelul 3.11. Repartizarea notelor elevilor de la lucrarea de laborator

Nota la evaluare	Punctaj 0	Punctaj 1	Punctaj 2	Punctaj 3
5	13	5	7	0
6	3	8	17	0
7	1	9	15	1
8	0	2	7	1
9	0	1	4	1
10	0	1	0	3

Pe baza acestor date se poate realiza o examinare amănunțită a relației dintre punctajul acordat pentru concluzia lucrării de laborator și nota obținută de elevi la evaluarea sumativă. Se remarcă, bunăoară, că elevii cu punctaje mai ridicate la lucrarea de laborator tind să obțină și rezultate mai bune la evaluarea sumativă. Totodată, există o legătură clară între gradul de detaliere a concluziei lucrării și performanța de ansamblu a elevilor. De exemplu: elevul care a obținut punctajul maxim la concluzie are „zece” la evaluare, iar majoritatea elevilor care au obținut punctaj „zero” au note de „cinci”.

În Tab. 3.12 este redată statistica descriptivă a notelor obținute la lucrarea de laborator, ordonate după nota finală de la evaluarea sumativă. Aceste valori oferă o imagine asupra modului în care se distribuie notele de la evaluare în raport cu punctajul acordat la lucrarea de laborator.

Tabelul 3.12. Indicatori descriptivi ai punctajului obținut la lucrarea de laborator

Nota la evaluare	Nr. elevi	Modul	Mediana	Mediana	Devierea std.	Shapiro-Wilk	p (Shapiro-Wilk)	Nota min. lab.	Nota max. lab.
5	25	0,024	0,000	0,760	0,879	0,731	<0,001	0,000	2,000
6	28	1,996	2,000	1,500	0,694	0,702	<0,001	0,000	2,000
7	26	1,998	2,000	1,615	0,637	0,786	<0,001	0,000	3,000
8	10	1,999	2,000	1,900	0,568	0,752	0,004	1,000	3,000
9	6	2,000	2,000	2,000	0,632	0,827	0,101	1,000	3,000
10	4	3,000	3,000	2,500	1,000	0,630	0,001	1,000	3,000

Modul este valoarea cu cea mai mare frecvență de apariție într-o distribuție. Aici, el este redat prin nota acordată la lucrarea de laborator.

Mediana este valoarea care separă distribuția în două jumătăți egale, o jumătate dintre valori situându-se sub ea, iar cealaltă deasupra. Pentru fiecare categorie de evaluare, mediana arată nota corespunzătoare elevului aflat la mijlocul distribuției.

Media arată punctajul mediu de la laborator obținut de elevii care au aceeași notă la evaluare.

Deviația standard exprimă gradul de împrăștiere a datelor față de medie. O deviație standard mai mare corespunde unei dispersii mai accentuate a datelor.

Conform Tab. 3.12, valoarea lui p din testul Shapiro-Wilk se situează mult sub nivelul de semnificație. Prin urmare, respingem ipoteza nulă și concluzionăm că datele nu urmează o distribuție normală.

Testul Shapiro-Wilk: Testul Shapiro-Wilk este un test de normalitate folosit pentru a stabili dacă o variabilă aleatoare provine sau nu dintr-o distribuție normală. Valoarea p obținută în urma acestui test servește la aprecierea normalității distribuției datelor. Atunci când valoarea p depășește nivelul de semnificație (de regulă 0,05), ipoteza nulă, potrivit căreia datele provin dintr-o distribuție normală, nu poate fi respinsă.

Nota minimă și maximă la laborator: Aceste valori arată cea mai mică și cea mai mare notă acordată la lucrarea de laborator, corespunzătoare fiecărei note de la evaluare.

Testul Shapiro-Wilk arată că valoarea lui p se situează sub nivelul de semnificație de 0,05, ceea ce indică abaterea datelor de la distribuția normală. Aceasta ne permite să formulăm concluzii cu privire la existența unei corelații între variabilele analizate: punctajul de la laborator și nota de la evaluare.

În Figura 3.10 este ilustrată grafic legătura dintre notele de la evaluarea sumativă la capitolul „*Fenomene electrice*” și punctajul de la lucrarea de laborator „*Determinarea puterii unui bec electric*”.

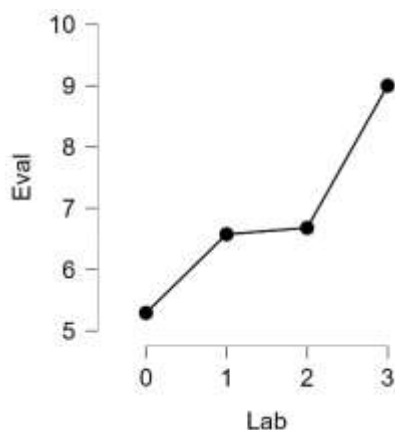


Fig. 3.10. Relația dintre notele de la evaluare și punctajul de la laborator

Diferența de gen (băieți – fete) pentru rezultatele de la evaluarea sumativă apare în Figura 3.11: dacă băieții au înregistrat o medie de 6,325, fetele au atins 6,724.

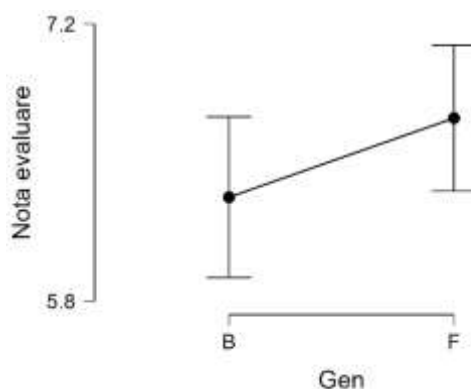


Fig. 3.11. Diferența de gen pentru notele obținute la evaluare

Diferența de gen a notelor de la laborator și de la evaluare este cuprinsă în Tab. 3.13. Datele arată că notele fetelor sunt mai mari decât cele ale băieților: la laborator – cu 26,9%, la evaluare acest decalaj se reduce până la - 6,31%.

Tabelul 3.13. Diferența de gen pentru notele de la laborator și evaluare

Probă	Gen	Nr. elevi	Media	Devierea std.	Nota minimă	Nota maximă
Laborator	Băieți	40	1,250	0,899	0,000	3,000
	Fete	58	1,586	0,795	0,000	3,000
Evaluare	Băieți	40	6,325	1,269	5,000	9,000
	Fete	58	6,724	1,399	5,000	10,000

Figura 3.12 descrie diferența de gen (băieți – fete) pentru punctajul obținut la laborator. Comparând Fig. 3.12 cu Fig. 3.11, constatăm că panta graficului diferenței de gen la laborator este mai pronunțată decât cea din cazul evaluării: panta este de 0,27 în Fig. 3.12 pentru laborator și de 0,06 în Fig. 3.11 pentru evaluare.

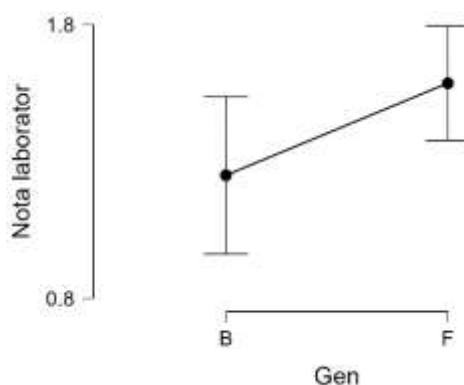


Fig. 3.12. Diferența de gen pentru punctajul de la lucrarea de laborator

În Tab. 3.14 este realizată analiza descriptivă a notelor de la evaluare în funcție de punctajul obținut la laborator. Examinând aceste date, vedem modul în care sunt distribuite

notele la laborator și cât de mult se abat acestea de la media aritmetică. Astfel, un coeficient de variație redus, așa cum se întâmplă în cazul de față, semnaleză o dispersie mai mică a notelor în jurul mediei aritmetice. Cu cât valoarea dispersiei scade, cu atât legitatea se conturează mai clar.

Tabelul 3.14. Indicatori descriptivi pentru notele obținute la evaluare

Indicator	Punctaj			
	0	1	2	3
Nr. elevi	17	26	50	6
Nota medie	5,294	6,577	6,680	9,000
DS	0,588	1,238	1,133	1,265
ES	0,143	0,243	0,160	0,516
Coeficientul de variație	0,111	0,188	0,170	0,141

Tab. 3.15 valorifică regresia liniară pentru a pune față în față plauzibilitatea a două ipoteze: pe de o parte ipoteza nulă H_0 , care neagă orice legătură între notele de la evaluare și cele de la laborator, iar pe de altă parte ipoteza alternativă H_1 , care susține existența unei asemenea legături. Întrucât coeficientul de corelație are valoarea obținută $R = 0$, ipoteza nulă nu este confirmată. În cadrul modelului alternativ, valoarea acestui coeficient vorbește despre o corelație pozitivă între cele două seturi de variabile examinate în această cercetare. Coeficientul de determinare arată că aproximativ 35,7% din variabilitatea notelor la evaluare este explicată statistic de punctajul obținut la laborator. Rezultatul indică o asociere relevantă între cele două variabile, fără a permite atribuirea unei relații cauzale.

Tabelul 3.15. Rezultatele analizei prin regresie liniară

Indicator	H_0	H_1
R	0,000	0,597
R^2	0,000	0,357
R^2 ajustat	0,000	0,337

Astfel, rezultatele obținute susțin ipoteza alternativă H_1 , conform căreia există o relație semnificativă statistic între rezultatele elevilor la lucrarea de laborator și rezultatele evaluării sumative. Analiza corelației și a regresiei liniare evidențiază existența unei relații pozitive între punctajul obținut la laborator și performanța la evaluare, chiar dacă această relație nu explică în totalitate variabilitatea rezultatelor.

Acest rezultat evidențiază relevanța activității experimentale în procesul de învățare. Asocierea identificată între performanța la laborator și rezultatele evaluării este compatibilă cu rolul atribuit activităților de realizare a experimentului, interpretare a datelor și formulare a concluziilor în construirea înțelegerii conceptuale.

În același timp, faptul că doar o parte din variabilitatea rezultatelor este explicată statistic prin performanța la laborator arată că variația rămasă este asociată altor factori, neinvestigați în studiul de față.

Din perspectivă didactică, aceste rezultate susțin necesitatea integrării sistematice a activităților experimentale în procesul de predare, nu ca momente izolate, ci ca elemente constitutive ale lecției. În acest sens, laboratorul devine un spațiu de construire a cunoașterii, în care elevul nu doar urmează proceduri predefinite, ci analizează, interpretează și își asumă rezultatele propriei activități.

Rezultatele obținute în această secțiune evidențiază, în mod consistent, relația dintre organizarea constructivistă a învățării și performanța școlară a elevilor. Analiza pe niveluri de studiu arată rezultate favorabile în toate cohortele analizate: media notelor la lucrările de laborator variază de la 7,11 în clasa a VI-a la 8,27 în clasa a X-a, iar media evaluărilor sumative de la 7,00 la 7,38. Aceste rezultate, obținute la niveluri diferite de școlaritate, susțin asocierea dintre organizarea constructivistă a învățării și performanța academică.

În același timp, relația dintre activitatea experimentală și rezultatele evaluării este susținută de valori ridicate ale coeficientului de corelație Pearson, cuprinse între 0,656 și 0,836, ceea ce indică o legătură puternică între performanța la laborator și cea la evaluările sumative. Analiza de regresie arată că între 43,1% și 69,8% din variabilitatea rezultatelor la evaluare poate fi explicată prin rezultatele obținute la lucrările de laborator, confirmând rolul acestora ca predictor relevant al succesului academic.

Rezultatele obținute în studierea Electrocineticii evidențiază această relație și în cadrul investigației focalizate pe elevii clasei a VIII-a. Analiza regresiei indică faptul că aproximativ 35,7% din variația notelor la evaluare este explicată statistic de punctajul obținut la lucrarea de laborator, ceea ce susține existența unei asocieri între performanța experimentală și rezultatele evaluării sumative.

În ceea ce privește diferențele de gen, în eșantioanele gimnaziale fetele au obținut rezultate mai bune decât băieții, diferențele fiind de aproximativ 7% la lucrările de laborator și de până la 10% la evaluările sumative. La nivel liceal, diferența observată este de aproximativ 1%. Aceste rezultate evidențiază profiluri diferite ale performanței în cohortele analizate, fără a indica o evoluție longitudinală a diferențelor de gen.

Privite în ansamblu, rezultatele evidențiază o relație consistentă între performanța în activitățile de laborator și rezultatele academice. În cohortele din clasele a VI-a, a VIII-a și a X-a, coeficienții de corelație Pearson variază între 0,656 și 0,836, iar performanța la laborator explică

statistic între 43,1% și 69,8% din variația rezultatelor la evaluările sumative. În studiul focalizat asupra Electrocineticii, proporția explicată este de 35,7%.

Astfel, rezultatele investigațiilor empirice distincte converg spre evidențierea rolului activității de laborator în organizarea constructivistă a învățării fizicii. Asocierea dintre performanța experimentală și rezultatele evaluării susține integrarea coerentă a activităților de laborator cu predarea și evaluarea, fără ca relațiile statistice identificate să fie interpretate în sens cauzal.

3.4 Concluzii la Capitolul 3

În acest capitol a fost analizată relația dintre cadrul curricular, specificul conținuturilor de fizică și rezultatele învățării, din perspectiva abordărilor constructiviste. Demersul a urmărit trecerea de la analiza nivelului conceptual și curricular la examinarea modului în care aceste principii devin funcționale în organizarea lecției și, în final, la verificarea lor empirică prin rezultatele elevilor. În acest context, concluziile formulate sintetizează atât caracteristicile cadrului existent, cât și rezultatele aplicării și validării empirice a abordărilor constructiviste analizate, evidențiind condițiile în care acestea sunt asociate cu performanța academică a elevilor.

1. Constructivismul este prezent sistemic în cadrul curricular, dar distribuit diferențiat pe niveluri de explicitare. Analiza evidențiază că dimensiunile constructiviste nu lipsesc din documentele curriculare, ci sunt prezente coerent în toate cele trei niveluri analizate. Totuși, acestea nu sunt formulate unitar, ci sunt distribuite diferențiat: la nivel conceptual în Concepție, structural în Curriculum și operațional în Ghid. Această distribuție confirmă existența unei orientări constructiviste reale la nivel de sistem, dar și faptul că aceasta nu funcționează ca model didactic explicit integrat, ci ca ansamblu de corespondențe parțiale între niveluri.

2. Statutul elevului ca subiect al cunoașterii este afirmat conceptual, dar devine dependent de transpunerea didactică. Elevul este definit explicit ca agent activ al învățării în Concepție și este susținut implicit în Curriculum prin structura competențelor și a activităților. Totuși, lipsa unor mecanisme explicite de operaționalizare face ca acest statut să depindă în mod direct de modul în care profesorul organizează activitatea didactică, ceea ce introduce o variabilitate semnificativă în aplicarea reală a principiilor constructiviste.

3. Construirea cunoașterii în documentele curriculare este coerentă epistemic, dar insuficient modelată didactic. Dimensiunea construirii cunoașterii este una dintre cele mai consistente în cadrul curricular, fiind susținută prin referire la procese autentice de cunoaștere științifică: observație, experiment, modelare și testare a ipotezelor. Cu toate acestea, această coerență

epistemică nu este dublată de un model procedural clar de organizare a învățării, ceea ce limitează transpunerea sistematică a acestor procese în practica didactică.

4. Interacțiunea și argumentarea sunt recunoscute ca mecanisme ale învățării, dar rămân slab instituționalizate. Dimensiunea socială a învățării este prezentă la nivel epistemologic și axiologic, unde argumentarea și comunicarea sunt legate de validarea cunoașterii. Totuși, la nivel curricular, aceste dimensiuni sunt integrate implicit în competențe și activități, fără a fi dezvoltate ca mecanisme centrale ale învățării, ceea ce conduce la o prezență instabilă și dependentă de inițiativa didactică.

5. Rolul profesorului este redefinit ca facilitator, dar fără un model procedural stabil. Profesorul este re poziționat clar ca facilitator, ghid și designer al situațiilor de învățare, ceea ce corespunde unei perspective constructiviste asupra predării. Cu toate acestea, această redefinire nu este susținută de un model procedural coerent și explicit, ceea ce face ca organizarea demersului didactic să rămână deschisă și dependentă de competența profesională individuală.

6. Procesul de transpunere curriculară generează pierderi diferențiate ale dimensiunilor constructiviste. Analiza dinamicii transpunerii arată că dimensiunile constructiviste nu sunt afectate uniform în trecerea de la concepție la practică. Statutul elevului și construirea cunoașterii se păstrează relativ coerent, în timp ce interacțiunea, argumentarea și rolul profesorului suferă reduceri semnificative la nivel structural și sunt recuperate doar parțial la nivel operațional. Această asimetrie explică dificultățile de implementare consistentă a constructivismului în practică.

7. Cadrul curricular funcționează ca sistem coerent, dar nu ca model didactic explicit. Cele trei documente analizate formează un sistem curricular coerent prin complementaritate: Concepția oferă cadrul de sens, Curriculumul structurează cerințele, iar Ghidul propune modalități de aplicare. Cu toate acestea, coerența rezultată este una emergentă, nu explicit formulată, ceea ce înseamnă că profesorul trebuie să reconstruiască modelul didactic din relația dintre documente, nu să îl aplice ca atare.

8. Conținuturile de fizică modernă impun un mod constructivist de învățare. Analiza arată că temele de astrofizică precum găurile negre, undele gravitaționale și interferometrul LIGO nu pot fi înțelese prin predare directă sau prin acumulare de informații, deoarece nu sunt accesibile observației directe și nu pot fi verificate experimental în mod obișnuit. În aceste condiții, învățarea se bazează necesar pe interpretarea relațiilor fizice, pe modelare și pe reconstruirea proceselor, ceea ce transformă constructivismul din opțiune didactică în condiție epistemică a înțelegerii.

9. În fizica modernă, înțelegerea se construiește prin relații și modele, nu prin experiență direct. Spre deosebire de conținuturile clasice, unde experiența directă poate susține învățarea, în

cazul fenomenelor analizate înțelegerea se formează prin corelarea mărimilor fizice și prin explicarea relațiilor dintre acestea. Elevul nu observă fenomenul, ci îl reconstruiește prin intermediul modelelor, al parametrilor și al explicațiilor, ceea ce redefineste rolul experienței în învățare și mută accentul pe interpretare și conceptualizare.

10. Conținuturile de astrofizică au un potențial didactic superior prin integrarea naturală a conceptelor fundamentale. Temele analizate creează contexte în care concepte fundamentale precum masă, densitate, câmp gravitațional, undă, energie sau frecvență nu mai sunt tratate izolat, ci integrate în explicații complexe. Această integrare permite nu doar aprofundarea conceptelor, ci și transferul lor în situații noi, ceea ce susține dezvoltarea unei înțelegeri funcționale și nu fragmentate a fizicii.

11. Activitatea experimentală este extinsă conceptual prin analiza datelor și a modelelor. În lipsa posibilității de experimentare directă, activitatea experimentală nu dispare, ci este transformată în analiză de date, interpretare de rezultate și explicare a funcționării unor sisteme complexe. Studiul interferometrului LIGO evidențiază această transformare, unde experimentul este înțeles prin funcționarea sistemului și prin interpretarea semnalului, nu prin realizare directă.

12. Organizarea învățării devine determinantă pentru construirea înțelegerii. Analiza arată că dificultatea acestor conținuturi nu ține doar de complexitatea lor, ci de modul în care sunt organizate în lecție. Fără o structurare progresivă a ideilor și fără ghidare, elevul rămâne cu informații disperate. În consecință, organizarea învățării devine factor central, iar lecția trebuie construită ca un parcurs de legare a ideilor, nu ca o succesiune de explicații.

13. Interesul elevilor pentru aceste teme poate fi valorificat ca motor cognitiv real. Caracterul spectaculos al fenomenelor analizate generează interes și curiozitate, dar valoarea didactică reală apare doar atunci când acest interes este orientat spre analiză, interpretare și explicare. Astfel, motivația nu este tratată ca element exterior învățării, ci ca suport pentru activitatea cognitivă, ceea ce susține implicarea elevului în procesul de construire a cunoașterii.

14. Învățarea investigativă devine cadrul natural de lucru pentru aceste conținuturi. Temele analizate permit organizarea activității în jurul unor situații de investigare, în care elevii formulează ipoteze, analizează date și interpretează rezultate. Acest mod de lucru apropie învățarea de practica științifică și creează condițiile pentru dezvoltarea unei înțelegeri bazate pe explorare și analiză, nu pe reproducere.

15. Eșafodajul este condiția funcțională a învățării, nu un element auxiliar. Analiza organizării lecției arată că implicarea elevului în activitate nu conduce automat la înțelegere. Ghidarea prin întrebări, explicații parțiale și feedback este esențială pentru orientarea efortului cognitiv. În acest sens, eşafodajul nu apare ca suport extern, ci ca mecanism prin care învățarea devine eficientă.

16. Autonomia elevului este rezultatul unui proces progresiv de organizare a învățării. Autonomia nu este o caracteristică inițială a elevului, ci rezultă din reducerea treptată a sprijinului oferit de profesor. Structura prezentată evidențiază o progresie de la activitate ghidată la activitate independentă, ceea ce arată că autonomia este construită în interiorul procesului de învățare și depinde de modul în care acesta este organizat.

17. Principiile de organizare a lecției definesc funcționarea reală a constructivismului. Principiile formulate sintetizează condițiile în care învățarea constructivistă devine efectivă: activitatea elevului, ghidarea profesorului, utilizarea situațiilor deschise, interacțiunea și dezvoltarea autonomiei. Acestea nu reprezintă doar orientări metodologice, ci exprimă modul concret în care constructivismul funcționează în lecția de fizică.

18. Aplicarea abordărilor constructiviste este asociată cu rezultate academice favorabile la toate cele trei niveluri de școlaritate analizate. Compararea transversală a cohortelor indică valori mai ridicate la nivelurile superioare: media rezultatelor la laborator variază de la 7,11 în clasa a VI-a la 8,27 în clasa a X-a, iar media evaluărilor de la 7,00 la 7,38. Aceste diferențe evidențiază consistența rezultatelor în contexte școlare și la niveluri de vârstă diferite, fără a reprezenta însă o urmărire longitudinală a acelorași elevi.

19. Performanța la lucrările de laborator este un predictor statistic semnificativ al rezultatelor la evaluările sumative. Coeficienții Pearson arată corelații ridicate:

- $r = 0,747$ (cl. VI)
- $r = 0,836$ (cl. VIII)
- $r = 0,656$ (cl. X)

Regresia liniară confirmă acest lucru:

- 55,8% (cl. VI)
- 69,8% (cl. VIII)
- 43,1% (cl. X)

Astfel, performanța la laborator explică între 43,1% și 69,8% din variația rezultatelor la evaluările sumative, în funcție de nivelul de clasă.

20. Relația dintre acțiunea experimentală și rezultatele învățării devine măsurabilă. În studiul realizat la Electrocinetică, performanța la lucrarea de laborator explică 35,7% din variația rezultatelor la evaluarea sumativă. Elevii cu punctaj 0 pentru concluzia lucrării au obținut o medie de aproximativ 5,29 la evaluare, comparativ cu aproximativ 9,00 pentru elevii cu punctaj maxim. Rezultatele evidențiază astfel o asociere clară între calitatea activității experimentale și performanța academică.

21. Diferențele de gen identificate în clasele gimnaziale nu se regăsesc statistic semnificativ în eșantionul de liceu.
22. Elevii cu performanță inițială ridicată prezintă un progres mai mare. În liceu progresul la elevi buni este dublu față de cel la elevii slabi (23,5% vs 12,6%). Acest rezultat evidențiază un progres diferențiat în funcție de nivelul inițial al performanței.
23. Distribuția notelor evidențiază rezultate favorabile la toate nivelurile de școlaritate analizate. În clasele a VI-a și a VIII-a, distribuțiile prezintă asimetrie negativă, asociată unei ponderi mai mari a notelor ridicate, în timp ce în clasa a X-a distribuția rezultatelor este mai uniformă. Aceste diferențe indică profiluri distincte ale performanței între cohortele analizate, în contextul aplicării abordărilor constructiviste.
24. Activitatea de laborator are o pondere curriculară redusă în raport cu asocierea sa cu performanța academică. Deși lucrărilor de laborator le revine o parte limitată din timpul didactic, performanța obținută în aceste activități prezintă asocieri puternice cu rezultatele evaluărilor sumative, explicând între 43,1% și 69,8% din variația acestora.
25. Rezultatele obținute în cohorte distincte și la niveluri diferite de școlaritate indică o convergență a rezultatelor asociate organizării constructiviste a învățării. Modelul integrat aplicat, care combină 5E, Clasa Inversată, activitatea de laborator și alte strategii constructiviste, este asociat cu rezultate academice favorabile în contexte curriculare diferite. Această convergență susține aplicabilitatea abordării la niveluri diferite de școlaritate, fără ca rezultatele să fie interpretate ca evoluție longitudinală a aceluiași eșantion.

Cercetarea teoretico-empirică prezentată în acest capitol a fost valorificată prin următoarele lucrări. Astfel, analiza cadrului curricular din perspectiva dimensiunilor constructiviste ale învățării, realizată pe baza Concepției, Curriculumului și Ghidului disciplinei Fizică și Astronomie (paragraful 3.1), face obiectul lucrării Zelenschi, *Premise constructiviste în noua concepție a disciplinei Fizică și Astronomie* [207]. Dinspre cadrul normativ către conținuturile propriu-zise ale disciplinei, valorificarea temelor de astrofizică — găurile negre și undele gravitaționale — ca resursă cu potențial constructivist (paragraful 3.2) este detaliată în lucrarea Calalb, Dabija & Zelenschi, *Integrating Black Holes and Gravitational Waves into School Physics* [44]. În partea finală a capitolului, verificarea empirică a acestor abordări s-a concretizat în două direcții complementare: pe de o parte, impactul metodelor constructiviste asupra performanței școlare în gimnaziu și liceu (paragraful 3.3.1) a fost cuantificat în lucrarea Calalb & Zelenschi, *The Effects of Constructivist Physics Lessons and Laboratories on Students' Academic Success* [36]; pe de altă parte, relația dintre performanța la lucrarea de laborator și succesul academic la studierea Electrocineticii (paragraful 3.3.2) a fost analizată în articolul Calalb & Zelenschi, *Impactul lucrărilor de laborator asupra rezultatelor evaluării sumative la studierea Electrocineticii în cl. a VIII-a* [48].

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Concluzii generale

1. Demersul teoretico-didactic dezvoltat în capitolul „Aspecte teoretico-didactice ale constructivismului în predarea fizicii” a pus în evidență, la nivelul mecanismelor fundamentale ale învățării, că înțelegerea conceptuală nu rezultă din „transmiterea pasivă a cunoștințelor”, ci se constituie exclusiv în condițiile implicării elevului în procese de „gândire, comparație, explicare și confruntare a propriilor idei”, ceea ce confirmă caracterul activ, constructiv și dependent de experiență, interacțiune și reflecție al cunoașterii.
2. Cercetarea evoluției paradigmelor educaționale, realizată în același cadru teoretico-didactic, a evidențiat că dezvoltarea predării fizicii urmează o logică de acumulare în care „fiecare etapă conține caracteristicile etapelor precedente”, fiind configurată o relație structurală între paradigme și formele de predare, de la „observarea empirică” și „observarea fenomenologică” până la „laboratorul școlar” și strategiile constructiviste bazate pe învățare activă, colaborare și investigare.
3. Modelarea didactică efectuată în capitol a condus la construirea unei scări a paradigmelor educaționale, diferențiate prin mărimea efectului asupra învățării, în care se evidențiază trecerea de la învățarea prin acțiune cu un efect de aproximativ 0,35, la învățarea prin înțelegere cu un efect de circa 0,80 și până la învățarea prin asumarea obiectivelor cognitive, cu valori cuprinse între 0,80 și 1,30, diferențele fiind explicate prin nivelul de implicare cognitivă și complexitatea comunicării didactice.
4. Analiza rolului feedbackului, realizată în cadrul paradigmei predării și învățării vizibile, a demonstrat existența unei relații proporționale între nivelul feedbackului și succesul academic al elevilor, această relație fiind susținută de valorile efectului asociate strategiilor didactice: evaluarea formativă – 0,48, dezbaterile ghidate – 0,82 și cunoașterea modului în care elevii au înțeles mesajul profesorului – 1,29, ceea ce confirmă faptul că învățarea eficientă este dependentă de existența unei comunicări bidirecționale permanente.
5. Investigarea proceselor cognitive implicate în învățarea fizicii a condus la identificarea unui nucleu funcțional al înțelegerii conceptuale, definit prin interdependența dintre „efortul cognitiv al elevului”, „cunoștințele preexistente” și „metacogniția”, aceasta din urmă având rol determinant în autoreglarea și aprofundarea învățării, ceea ce confirmă că înțelegerea se constituie ca proces intern, construit progresiv pe baza structurilor cognitive existente.
6. Explorarea cadrului teoretico-didactic al aplicării constructivismului a arătat că acesta devine operațional doar prin integrarea coerentă a structurilor fundamentale ale învățării, respectiv

modelul 5E, activitatea de laborator organizată ca proces de cercetare și principiile „Nature of Science”, în condițiile în care „feedback-ul este prezent în fiecare fază a lecției”, iar elevii parcurg procese autentice de investigare, de la formularea ipotezelor până la construirea modelelor explicative, ceea ce transformă lecția de fizică într-un spațiu de construire progresivă a cunoașterii.

7. Capitolul „Baze metodologice ale aplicării constructivismului în predarea fizicii” configurează proiectarea didactică a învățării fizicii ca organizare intenționată a activității elevului în jurul reconstrucției conceptuale, al efortului cognitiv activ și al rezistenței structurilor cognitive la schimbare, aceste principii fiind transpuse metodologic prin valorificarea cunoștințelor anterioare, utilizarea întrebărilor stimulative didactice.

8. Cercetarea cadrului metodologic al predării constructiviste a evidențiat utilizarea caracterului multidimensional al cunoașterii, prin integrarea dimensiunilor conceptuală, procedurală și axiologică în proiectarea lecției, această integrare fiind realizată prin corelarea obiectivelor, activităților și rezultatelor în structuri de tip matrice logică și prin orientarea demersului didactic spre aplicarea practică a cunoștințelor în contexte variate.

9. La nivelul organizării învățării, metacogniția se configurează ca instrument metodologic explicit, integrat în structura lecției prin activități de monitorizare, reflecție și autoevaluare, care permit reglarea continuă a procesului de învățare și adaptarea strategiilor elevilor în raport cu sarcinile propuse.

10. Analiza organizării activităților didactice a condus la evidențierea colaborării ca formă de structurare a acțiunii didactice, lecția fiind construită pe lucrul în grup, dezbateri și interacțiuni, în care elevii formulează ipoteze, discută rezultate și construiesc colectiv cunoașterea, iar profesorul organizează și ghidează acest proces.

11. Examinarea modelelor și strategiilor didactice a arătat că predarea constructivistă se realizează printr-un ansamblu coerent de structuri metodologice, în care modelul 5E organizează progresiv activitățile de învățare prin fazele de implicare, explorare, explicare, elaborare și evaluare, iar strategiile precum învățarea prin cercetare, învățarea pe bază de proiect, învățarea problematizată, explorarea, reflecția și utilizarea simulărilor reprezintă forme distincte de organizare a acțiunii cognitive a elevilor.

12. Analiza organizării lecției de fizică în modele constructiviste a evidențiat modalități diferite de structurare a demersului didactic. Modelul Clasei Inversate reorganizează distribuția activităților între studiul individual și activitatea din clasă, iar experimentul pedagogic desfășurat în clasele a VII-a la studierea capitolului „Echilibrul de rotație” a evidențiat un progres academic mai mare în grupul experimental decât în grupul de control, cu o mărime moderată a efectului calculată pe baza progresului individual (Cohen's $d = 0,49$). Modelul ciclic IBSE structurează

lecția prin corelarea etapelor de evocare, formulare a ipotezelor, verificare, interpretare și reflecție cu acțiunile profesorului și ale elevilor, diferențele dintre modele fiind determinate de nivelul autonomiei elevului, gradul de structurare a activităților și rolul feedbackului.

13. Capitolul „Analiza și validarea abordărilor constructiviste în învățarea fizicii” evidențiază că distribuția și funcționarea constructivismului în cadrul curricular se realizează nu ca model didactic explicit, ci ca sistem diferențiat între nivelurile conceptual, structural și operațional, în care dimensiunile constructiviste sunt prezente coerent, dar formulate neuniform și distribuite între Concepție, Curriculum și Ghid, astfel încât funcționarea lor efectivă devine dependentă de transpunerea didactică, iar dimensiuni precum statutul elevului, interacțiunea, argumentarea și rolul profesorului suferă pierderi diferențiate în procesul de implementare, ceea ce explică caracterul parțial și instabil al aplicării constructivismului în practică.

14. Cercetarea a arătat că specificul epistemic al conținuturilor de fizică modernă și consecințele asupra învățării determină o reconfigurare profundă a modului de construire a înțelegerii, în condițiile în care fenomenele analizate nu sunt accesibile observației directe și nu pot fi verificate experimental în mod obișnuit. În acest context, învățarea se realizează prin modelare, interpretarea relațiilor fizice și corelarea mărimilor, iar conceptele fundamentale sunt integrate în explicații complexe, ceea ce extinde activitatea experimentală spre analiza datelor și interpretarea modelelor și transformă constructivismul dintr-o opțiune didactică într-o condiție epistemică a înțelegerii.

15. Funcționarea concretă a învățării constructiviste în lecția de fizică este asigurată prin mecanisme precum eșafodajul, ghidarea prin întrebări și feedback și organizarea unei progresii de la activitate ghidată la activitate independentă, în care interacțiunea, autonomia și implicarea elevului sunt construite prin structurarea deliberată a activității, ceea ce evidențiază că eficiența învățării depinde de modul de integrare și susținere a acestor mecanisme în lecție.

16. Analiza empirică a performanței academice, realizată pe cohorte distincte din clasele a VI-a, a VIII-a și a X-a, evidențiază rezultate favorabile la toate cele trei niveluri de școlaritate analizate. Media la laborator variază de la 7,11 în clasa a VI-a la 8,27 în clasa a X-a, iar media evaluărilor de la 7,00 la 7,38. Relația dintre performanța la laborator și rezultatele evaluărilor este susținută de coeficienți Pearson de $r = 0,747$, $r = 0,836$ și $r = 0,656$, precum și de modele de regresie care explică între 43,1% și 69,8% din variația rezultatelor la evaluare. Convergența acestor rezultate în cohorte și la niveluri de școlaritate diferite susține asocierea dintre performanța în activitățile de laborator și performanța academică.

Recomandări

La nivelul Ministerului Educației și Cercetării

1. Se recomandă revizuirea documentelor curriculare de fizică prin corelarea explicită a cerințelor privind activitatea elevului, organizarea învățării și evaluarea, astfel încât acestea să fie formulate coerent între Concepție, Curriculum și Ghid.
2. Se recomandă elaborarea unui cadru metodologic național unitar pentru predarea fizicii, care să stabilească repere comune privind proiectarea didactică, utilizarea evaluării formative și rolul feedback-ului în procesul de predare-învățare-evaluare.
3. Se recomandă instituirea unui sistem de monitorizare a implementării curriculumului, bazat pe analiza rezultatelor elevilor, care să permită corelarea deciziilor curriculare cu datele reale din practică și ajustarea periodică a documentelor oficiale.

La nivelul instituțiilor de cercetare

4. Se recomandă realizarea unor studii empirice care să stabilească, pe bază de date, relația dintre modul de organizare a activității didactice și rezultatele elevilor la fizică, utilizând indicatori măsurabili și comparabili.
5. Se recomandă elaborarea și validarea unor instrumente standardizate care să permită evaluarea progresului elevilor dincolo de rezultatele sumative, în vederea utilizării acestora în cercetare și în analiza sistemică a datelor educaționale.

La nivel de instituții de învățământ superior – formare inițială

6. Se recomandă includerea explicită a abordării constructiviste în formarea inițială a profesorilor de fizică, prin activități de proiectare didactică orientate spre organizarea învățării în jurul activității elevului și integrarea investigării în lecție.
7. Se recomandă organizarea practicii pedagogice astfel încât studenții să proiecteze și să desfășoare lecții pe baza principiilor constructiviste, urmate de analiză a modului de implicare a elevilor și a rezultatelor obținute.

La nivel de instituții de învățământ superior – formare continuă

8. Se recomandă organizarea programelor de formare continuă pentru profesorii de fizică centrate pe analiza și îmbunătățirea lecțiilor existente, prin aplicarea abordării constructiviste și corelarea modului de organizare a învățării cu rezultatele elevilor.

La nivelul instituțiilor de învățământ (școli)

9. Se recomandă organizarea procesului de predare la fizică astfel încât lecțiile să fie structurate în mod consecvent în jurul activității elevului, prin utilizarea sarcinilor de lucru care solicită explicarea, compararea și confruntarea ideilor, precum și prin integrarea activităților de investigare în desfășurarea lecției.

10. Se recomandă instituirea unor practici interne de analiză a rezultatelor elevilor la fizică, care să permită corelarea modului de organizare a învățării cu performanța obținută și ajustarea activităților didactice la nivelul clasei.

La nivelul comisiilor metodice

11. Se recomandă utilizarea unui cadru comun de analiză a lecțiilor de fizică, bazat pe criterii de orientare constructivistă, în vederea evaluării modului de implicare a elevilor și a organizării activităților de învățare.

La nivel de cadru didactic

12. Se recomandă proiectarea și desfășurarea lecțiilor de fizică pe baza principiilor constructiviste, prin organizarea activității elevului în sarcini care solicită explicarea, compararea și confruntarea ideilor.

13. Se recomandă utilizarea sistematică a feedback-ului bidirecțional pe parcursul lecției, în vederea reglării învățării și a corelării modului de lucru al elevilor cu rezultatele obținute.

BIBLIOGRAFIE

1. ABBOTT, B. P. et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. In: *Physical Review Letters*. 2016, 116(6), Article 061102. Disponibil: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>
2. AKÇAYIR, G., AKÇAYIR, M. The flipped classroom: A review of its advantages and challenges. In: *Computers & Education*. 2018, 126, 334-345. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.021>
3. ANAMEZIE, R. Utilization of constructivist instructional method in teaching physics in secondary schools: Interaction effects of method and location. In: *World Journal of Innovative Research*. 2018, 5(2), 11-15.
4. ANDERSON, C. W. Perspectives on science learning. In: ABELL, S. K., LEDERMAN, N. G., ed. *Handbook of research on science education*. Routledge, 2007, pp. 3-30.
5. ARIODER, L. J. Q., ARIODER, V. Q., QUINTANA, V. V., DAGAMAC, N. H. Application of constructivist teaching approach in introducing new environmental concepts to young elementary students in the Philippines: A small class-sized experience from slime moulds modelling. In: *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*. 2020, 16(2), Article e2214. Disponibil: <https://doi.org/10.29333/ijese/7818>
6. ASSI, A., COHEN, A. Context-based learning in flipped middle school chemistry class. In: *International Journal of Science Education*. 2024, 46(6), 570-589. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2250067>
7. BAILIN, S. Critical thinking and science education. In: *Science & Education*. 2002, 11(4), 361-375. Disponibil: <https://doi.org/10.1023/A:1016042608621>
8. BANDA, H. J., NZABAHIMANA, J. Effect of practical work in physics on students' academic achievement, conceptual understanding and science process skills: A systematic review. In: *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*. 2021, 25(3), 398-411. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/18117295.2021.1933408>
9. BARRON, B., SCHWARTZ, D. L., VYE, N. J., MOORE, A., PETROSINO, A., ZECH, L., BRANSFORD, J. D. Doing with understanding: Lessons from research on problem- and project-based learning. In: *The Journal of the Learning Sciences*. 1998, 7(3-4), 271-311. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/10508406.1998.9672056>
10. BÂRSĂNESCU, Ș. *Pedagogia modernă*. București: Editura Didactică și Pedagogică, 1969.
11. BAVISKAR, S. N., HARTLE, R. T., WHITNEY, T. Can we teach science constructively? Uncovering the theoretical assumptions of teaching strategies. In: *The American Biology Teacher*. 2007, 69(1), 47-51.

12. BEATTY, I. D., GERACE, W. J. Technology-enhanced formative assessment: A research-based pedagogy for teaching science with classroom response technology. In: *Journal of Science Education and Technology*. 2009, 18(2), 146-162. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9140-4>
13. BEERENWINKEL, A., VON ARX, M. Constructivism in practice: An exploratory study of teaching patterns and student motivation in physics classrooms in Finland, Germany and Switzerland. In: *Research in Science Education*. 2017, 47, 237-255. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9497-3>
14. BERGMANN, J., SAMS, A. *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. International Society for Technology in Education, 2012. Disponibil: <https://doi.org/10.1002/jaal.172>
15. BERNHARD, J. Beyond active learning: Critical factors for learning in labs. In: *Proceedings of the 7th Research in Engineering Education Symposium (REES 2017)* (Vol. 2). 2017, pp. 532-540. ISBN 9781510849419.
16. BERUBE, C. T. *A study of the effects of constructivist-based vs. traditional direct instruction on 8th grade science comprehension*: PhD thesis. Old Dominion University, 2017. Disponibil: <https://doi.org/10.25777/0abc-wf06>
17. BIGOZZI, L., TARCHI, C., FIORENTINI, C., FALSINI, P., STEFANELLI, F. The influence of teaching approach on students' conceptual learning in physics. In: *Frontiers in Psychology*. 2018, 9, Article 2474. Disponibil: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02474>
18. BÎRNAZ, N. Monitorizarea curriculumului prin prisma documentelor de politici curriculare în viziunea profesorilor de biologie. In: *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe ale educației)*. 2025, 5(185). Disponibil: [https://doi.org/10.59295/sum5\(185\)2025_09](https://doi.org/10.59295/sum5(185)2025_09)
19. BISHOP, J., VERLEGER, M. A. The flipped classroom: A survey of the research. In: *Proceedings of 2013 ASEE Annual Conference & Exposition*, Atlanta, GA, United States, 2013. Disponibil: <https://doi.org/10.18260/1-2-22585>
20. BLACK, P., WILIAM, D. Assessment and classroom learning. In: *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*. 1998, 5(1), 7-74. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/0969595980050102>
21. BLAJVAZ, B. K., BOGDANOVIĆ, I. Z., JOVANOVIĆ, T. S., STANISAVLJEVIĆ, J. D., PAVKOV-HRVOJEVIĆ, M. V. The JIGSAW technique in lower secondary physics education: Students' achievement, metacognition and motivation. In: *Journal of Baltic Science Education*. 2022, 21(4), 545-557. Disponibil: <https://doi.org/10.33225/jbse/22.21.545>

22. BLUMENFELD, P. C., SOLOWAY, E., MARX, R. W., KRAJCIK, J. S., GUZDIAL, M., PALINCSAR, A. Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. In: *Educational Psychologist*. 1991, 26(3-4), 369-398. Disponibil: https://doi.org/10.1207/S15326985EP2603_8
23. BOCANCEA, V. Aspects of implementing STEM/STEAM projects in the study of physics in general education. In: *Perspective interdisciplinare asupra predării și învățării științelor*. CEP UPSC, 2025, pp. 93-98. Disponibil: <https://doi.org/10.46727/c.11-04-2025>
24. BOCANCEA, V. Exemplu de transpunere în practică a modelului învățării experiențiale la fizică. In: *Materialele Conferinței Republicane a Cadrelor Didactice: Metodologii de învățare eficientă în contextul noilor provocări societale* (Vol. 6). Tipografia Universității de Stat din Tiraspol, 2021, pp. 26-29.
25. BOCANCEA, V., CIUVAGA, V. Evaluarea curriculumului scris vis-a-vis de evaluarea curriculumului predat/implementat la fizică. In: *Abordări inter/transdisciplinare în predarea științelor reale (concept STEAM)* (Ediția a 5-a). Chișinău: CEP UPSC, 2025, pp. 420-426. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/420-426_6.pdf
26. BOLOGNA, V., LONGO, F., PERESSI, M. Towards an early physics approach for secondary students. In: *Journal of Physics: Conference Series*. 2024, 2727(1), Article 012004. Disponibil: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2727/1/012004>
27. BOROZAN, M., BUSHNAQ, T. Principles for innovation: The role of action research in 21st century pedagogy. In: *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe ale Educației)*. 2025, 5(185), 47-56. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/47-56_19.pdf
28. BOSTAN, C. G. Analysis between students' genre and their school results to real disciplines. In: *EDU World 2018 – The 8th International Conference*. European Proceedings of Social & Behavioural Sciences, 2019, vol. 8, pp. 798-805. ISSN 2357-1330. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2019.08.03.95>
29. BOTGROS, I., BOCANCEA, V., DONICI, V., CIUVAGA, V., CONSTANTINOV, N. *Fizică: Manual pentru clasa a VII-a* (Ediția a 5-a), Ed. Cartier. 2020.
30. BOTGROS, I., FRANȚUZAN, L., BOCANCEA, V. Componentele paradigmei formării competenței de cunoaștere științifică în învățământul preuniversitar. In: *Acta et Commentationes (Științe ale Educației)*. 2013, 1(2), 40-48.
31. BOTGROS, I., GORDIENCO, A., ȘARGAROVSKI, S. Proiectarea constructivistă - siguranță în eficientizarea procesului educațional la fizică. In: *Materialele Conferinței*

- Republicane a Cadrelor Didactice: Științe exacte* (Vol. 1). Universitatea de Stat din Tiraspol, 2018, pp. 141-146. Disponibil: https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/95132
32. BROOKES, D. T., ETKINA, E., PLANINŠIČ, G. Implementing an epistemologically authentic approach to student-centered inquiry learning. In: *Physical Review Physics Education Research*. 2020, 16(2), Article 020148. Disponibil: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020148>
 33. BRUNER, J. S. *The culture of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1996. Disponibil: <https://doi.org/10.4159/9780674251069>
 34. BRUNER, J. S. *Toward a theory of instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1966.
 35. BYBEE, R. W., TAYLOR, J. A., GARDNER, A., VAN SCOTTER, P., CARLSON, J., WESTBROOK, A., LANDES, N. *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness*. BSCS, 2006. Disponibil: https://bscs.org/wp-content/uploads/2022/01/bscs_5e_full_report-1.pdf
 36. CALALB M., ZELENSCHI I. The Effects of Constructivist Physics Lessons and Laboratories on Students' Academic Success. In: *Acta Didactica Napocensia*, 2024, nr. 17(2), pp. 99-111, nr. <https://doi.org/10.24193/adn.17.2.8>
 37. CALALB, M. Assumption of cognitive goals in science teaching. In: *Proceedings of the 4th International Baltic Symposium on Science and Technology Education (BalticSTE2021)*. Scientia Socialis Press, 2021, pp. 32-38. Disponibil: <https://doi.org/10.33225/BalticSTE/2021.32>
 38. CALALB, M. Correlation between visible teaching and inquiry-based learning. In: *Proceedings of the World Conference on Teaching and Education*. World Conference on Teaching and Education, Budapest, Hungary, 2019.
 39. CALALB, M. Evaluation of the Moldovan concept of physics and astronomy as a school subject in light of modern science education. In: *Culegerea de lucrări a conferinței științifice internaționale Perspective interdisciplinare asupra cunoașterii*, Chișinău, 8 mai 2026. CEP UPSC, 2026, pp. 82-100.
 40. CALALB, M. Learning by being or assumption of cognitive goals. In: *Studia Universitatis Moldaviae. Seria Științe ale Educației*. 2020, 5(135), 49-54. Disponibil: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3967033>
 41. 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), 32-39. Disponibil: https://ojs.studiamsu.md/index.php/stiinte_educatiei/article/view/2252
42. CALALB, M. *Structurarea proiectelor didactice conform conceptului învățării științelor prin metoda investigației*. Chișinău: Institutul de Dezvoltare a Societății Informaționale, 2022. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/Structurarea%20proiectelor%20didactice%20conform%20conceptului%20invatarii%20stiintelor%20prin%20metoda%20investigatiei.pdf
 43. CALALB, M. The constructivist principle of learning by being in physics teaching. In: *Athens Journal of Education*. 2023, 10(1), 139-152. Disponibil: <https://doi.org/10.30958/aje.10-1-8>
 44. CALALB, M., DABIJA, V., **ZELENSCHI, I.** Integrating Black Holes and Gravitational Waves into School Physics. In: *Învățare activă pentru dezvoltare durabilă*, 15 noiembrie 2024, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: CEP UPS „I.Creangă”, 2024, pp. 34-44. ISBN 978-9975-46-989-0. <https://doi.org/10.46727/c.15-11-2024.p34-44>
 45. CALALB, M., **ZELENSCHI I.** Constructivismul în predarea fizicii. In: *Acta et Commentationes, Sciences of Education*, 2023, nr. 3(33), pp. 76-85. ISSN 1857-0623, E-ISSN 2587-3636. <https://doi.org/10.36120/2587-3636.v33i3.76-85>
 46. CALALB, M., **ZELENSCHI I.** Metode constructiviste de predare a interacțiunilor în clasa VII. Analiză comparativă. In: *Abordări inter/transdisciplinare în predarea științelor reale, (concept STEAM)*, Ed. Ediția a 2-a, 28-29 octombrie 2022, Chișinău. Tipografia UST, 2022, Ediția a 2-a, pp. 388-393. ISBN 978-9975-76-411-7. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/388-393_3.pdf
 47. CALALB, M., **ZELENSCHI, I.** Abordări constructiviste la lecția de fizică. In: *Materialele Conferinței Republicane a Cadrelor Didactice: Didactica științelor exacte*, 26-27 februarie 2022, Chișinău. Chișinău: Tipografia Universității de Stat din Tiraspol, 2022, Vol. 1, pp. 264-268. ISBN 978-9975-76-382-0 https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-264-268_1.pdf
 48. CALALB, M., **ZELENSCHI, I.** Impactul lucrărilor de laborator asupra rezultatelor evaluării sumative la studierea electrocineticii în clasa a VIII-a. In: *Perspective interdisciplinare asupra predării și învățării științelor*, 25 aprilie 2024, Chișinău. Chișinău: CEP UPS „I. Creangă”, 2024, pp. 233-244. ISBN 978-9975-46-933-3. <https://doi.org/10.46727/c.25-04-2024.p233-244>

49. CALALB, M., **ZELENSCHI, I.** Modele de medii constructiviste de învățare a fizicii . In: *Science and education: new approaches and perspectives*, Ed. 25, 24-25 martie 2023, Chișinău. Chișinău: CEP UPSC, 2023, Seria 25, Vol.3, pp. 346-352. ISBN 978-9975-46-787-2. <https://doi.org/10.46727/c.v3.24-25-03-2023.p346-352>
50. CĂLESCU, V.-C. Construcția partajată a cunoașterii elevilor în „șantierul” constructivismului pedagogic. In: *Revista Didactica Pro..., revistă de teorie și practică educațională*. 2025, 3-4(151-152), 34-39. Disponibil: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16944890>
51. CELAC, V. Valorizarea instrumentelor de învățare cognitiv-constructivistă în procesul de formare a competențelor elevilor. In: *Tradiție și inovație în educație: Învățământul general: Tradiție și inovație* (Vol. 1). Universitatea de Stat din Tiraspol, 2019, pp. 192-201.
52. CERGHIT, I. *Metode de învățământ*. București: Editura Didactică și Pedagogică, 1980.
53. CESCHI, A., PERINI, M., SCALCO, A., PENTASSUGLIA, M., RIGHETTI, E., CAPUTO, B. Foster employability and fight social exclusion through the development of lifelong learning key competences: Reviewing twenty years of lifelong learning policies. In: *European Journal of Training and Development*. 2021, 45(6/7), 475-511. Disponibil: <https://doi.org/10.1108/EJTD-07-2019-0126>
54. CHALMERS, A. F. *Science and its fabrication*. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press, 1990.
55. CHANG, Y. Gender differences in science achievement, science self-concept, and science values. In: *Proceedings of the IEA International Research Conference 2008*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement, 2009, pp. 87-98. Disponibil: https://www.iea.nl/sites/default/files/2019-04/IRC2008_Chang.pdf
56. CHI, M. T. H. Active-constructive-interactive: A conceptual framework for differentiating learning activities. In: *Topics in Cognitive Science*. 2009, 1(1), 73-105. Disponibil: <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2008.01005>.
57. CHINN, C. A., KLAHR, D. E. Learning through inquiry. In: *Science Education*. 1999, 83(2), 171-191. Disponibil: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199903\)83:2<171::AID-SCE5>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199903)83:2<171::AID-SCE5>3.0.CO;2-L)
58. CIASCAI, L. *De la didactică la didactica științelor: Studii și cercetări* (Vol. 10). Cluj-Napoca: Presa Universitară Clujeană, 2018.
59. CIASCAI, L., coord. *Model ciclic de predare-învățare bazat pe investigație*. Cluj-Napoca: Presa Universitară Clujeană, 2016. Disponibil: <https://ceae.ro/wp-content/uploads/2017/05/Fundamentarea-abordarii.pdf>

60. COMMEFORD, K., BREWE, E., TRAXLER, A. Characterizing active learning environments in physics using latent profile analysis. In: *Physical Review Physics Education Research*. 2022, 18, Article 010113. Disponibil: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010113>
61. CONSILIUL UNIUNII EUROPENE. Recomandarea Consiliului din 22 mai 2018 privind competențele cheie pentru învățarea pe tot parcursul vieții (2018/C 189/01). In: *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene*. 2018, C189, pp. 1-13. Disponibil: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:32018H0604\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:32018H0604(01))
62. CONSILIUL UNIUNII EUROPENE. Rezoluția Consiliului privind cadrul strategic pentru cooperarea europeană în domeniul educației și formării în direcția realizării și dezvoltării în continuare a Spațiului european al educației (2021-2030) (2021/C 66/01). In: *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene*. 2021, C66, pp. 1-21. Disponibil: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021G0226\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021G0226(01))
63. CRISTEA, S. Autonomie și responsabilitate în educație. In: *Didactica Pro...* 2021, 3(127), 53-56. Disponibil: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5036104>
64. CRISTEA, S. Educația pentru transformare. In: *Didactica Pro...* 2025, 3-4(151-152), 94-96. Disponibil: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16944923>
65. CROUCH, C. H., MAZUR, E. Peer instruction: Ten years of experience and results. In: *American Journal of Physics*. 2001, 69(9), 970-977. Disponibil: <https://doi.org/10.1119/1.1374249>
66. CUCOȘ, C. *Educația: Reîntemeieri, dinamici, prefigurări*. Iași: Polirom, 2017.
67. *Curriculum național fizică clasele VI-IX: Curriculum disciplinar. Ghid de implementare*. Chișinău: Lyceum, 2020.
68. DACIA-BOCOȘ, M., coord. *Dicționar praxiologic de pedagogie* (Vol. 1, A-D). Pitești: Paralela 45, 2016.
69. DAVIDENKO, A., BOCANCEA, V. *Proiecte STEM/STEAM la fizică*. Ghid metodic. Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova, Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare, Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă”. – Chișinău : S. n., 2022 (CEP UPSC). – 62p.
70. DESLAURIERS, L., SCHELEW, E., WIEMAN, C. Improved learning in a large-enrollment physics class. In: *Science*. 2011, 332(6031), 862-864. Disponibil: <https://doi.org/10.1126/science.1201783>
71. DEWEY, J. *Experience and education*. Kappa Delta Pi, 1938. Disponibil: <https://doi.org/10.1037/14330-000>

72. DODLEK, D., PLANINŠIČ, G., ETKINA, E. How to help students learn: An investigation of how in- and pre-service physics teachers respond to students' explanations. In: *Physical Review Physics Education Research*. 2024, 20(1), Article 010120. Disponibil: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010120>
73. DONOGHUE, G. M., HATTIE, J. A. C. A meta-analysis of ten learning techniques. In: *Frontiers in Education*. 2021, 6, Article 581216. Disponibil: <https://doi.org/10.3389/educ.2021.581216>
74. DOUCETTE, D., SINGH, C. Gender equity in physics labs. In: *Physical Review Physics Education Research*. 2024, 20(1), Article 010102. Disponibil: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010102>
75. DUIT, R., NIEDDERER, H., SCHECKER, H. Teaching physics. In: ABELL, S. K., LEDERMAN, N. G., ed. *Handbook of research on science education*. Routledge, 2007, pp. 599-629.
76. EGAN, K. *The educated mind: How cognitive tools shape our understanding*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1997. Disponibil: <http://dx.doi.org/10.2307/1585992>
77. ENFIELD, J. Looking at the impact of the flipped classroom model of instruction on undergraduate multimedia students at CSUN. In: *TechTrends*. 2013, 57(6), 14-27. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s11528-013-0698-1>
78. ERASMUS, D. *In praise of folly*. 1904. Disponibil: <https://doi.org/10.1093/oseo/instance.00024627>
79. ETKINA, E., BROOKES, D. T., PLANINŠIČ, G. The investigative science learning environment (ISLE) approach to learning physics. In: *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, 1882(1), Article 012001. Disponibil: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012001>
80. ETKINA, E., VAN HEUVELEN, A. Investigative science learning environment: A science process approach to learning physics. In: ABELL, S. K., LEDERMAN, N. G., ed. *Handbook of research on science education*. Routledge, 2007, pp. 803-869.
81. EUROPEAN COMMISSION. *Boosting STEM participation in tertiary education: A persistent challenge across Europe*. European Education Area, 2026. Disponibil: <https://education.ec.europa.eu/resources-and-tools/data-and-analysis-on-education-and-skills/key-trends-in-education/stem-in-tertiary-education>
82. FENSHAM, P. J. *Defining an identity: The evolution of science education as a field of research*. Springer, 2004.

83. FLAVELL, J. H. Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. In: *American Psychologist*. 1979, 34(10), 906-911. Disponibil: <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
84. FLORIAN, G., STOENESCU, G. *Didactica fizicii* (Ed. a III-a, revizuită). București: Editura Didactică și Pedagogică, 2020.
85. FRANȚUZAN, L. Învățarea transformatoare - dimensiune a calității și eficienței procesului educațional la educația științifică (Biologie, Fizică, Chimie). In: *Didactica Pro...* 2018, 3(109), 44-47. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/44-47_8.pdf
86. FRANȚUZAN, L. Landmarks of reconfiguration of the learning process from the curricular area of mathematics and sciences. In: *Literature, Discourses and the Power of Multicultural Dialogue: Communication, Journalism, Education Sciences, Psychology and Sociology* (Ed. 10). Tîrgu Mureș: The Alpha Institute for Multicultural Studies, 2022, pp. 32-36. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/32-36_68.pdf
87. FRASER, J. M., TIMAN, A. L., MILLER, K., DOWD, J. E., TUCKER, L., MAZUR, E. Teaching and physics education research: Bridging the gap. In: *Reports on Progress in Physics*. 2014, 77(3), Article 032401. Disponibil: <https://doi.org/10.1088/0034-4885/77/3/032401>
88. FREIRE, P. *Pedagogy of the oppressed*. Continuum, 1970. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/978-1-349-25148-9>
89. FROEBEL, F. The education of man. Translated by W. N. Hailmann. New York: D. Appleton and Company, 1895.
90. FULLAN, M. *The new meaning of educational change* (3rd ed.). New York: Teachers College Press, 2001.
91. GARCIA I GRAU, F., VALLS, C., PIQUÉ, N., RUIZ-MARTÍN, H. Long-term effects of introducing the 5E instructional model on students' conceptual learning. In: *International Journal of Science Education*. 2021, 43(9), 1441-1458. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1918354>
92. GATCH, D. Restructuring introductory physics by adapting an active learning studio model. In: *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*. 2010, 4(2), Article 14. Disponibil: <https://doi.org/10.20429/ijsoitl.2010.040214>
93. GHEORGHE, E. C., SILISTRARU, N. Formarea competenței metacognitive la elevii din clasele primare din perspectivă constructivistă. In: *Materialele Conferinței Republicane a Cadrelor Didactice: Învățământul preșcolar. Învățământul primar* (Vol. 4). Tipografia Universității de Stat din Tiraspol, 2022, pp. 187-191.

94. GIL-PÉREZ, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO, A. M., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H., GALLEGU, R. Defending constructivism in science education. In: *Science & Education*. 2002, 11(6), 557-571. Disponibil: <https://doi.org/10.1023/A:1019639316456>
95. GUNIŠ, J., KLEIN, D., KIREŠ, M. Active learning in STEM education with regard to the development of inquiry skills. In: *Education Sciences*. 2022, 12(10), Article 686. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/educsci12100686>
96. GUȚU, V. Proiectarea curriculară centrată pe elev: Cadrul formal și non-formal. In: *Acta et Commentationes (Științe ale Educației)*. 2020, 4(22), 101-109. Disponibil: <https://doi.org/10.36120/2587-3636.v22i4.101-109>
97. GUȚU, V., BOLIEV, V. Evaluarea curriculară – evaluarea curriculumului: concept și metodologie. In: *Studia Universitatis Moldaviae (Seriă Științe ale Educației)*. 2025, 5(185), 8-16. Disponibil: [https://doi.org/10.59295/sum5\(185\)2025_01](https://doi.org/10.59295/sum5(185)2025_01)
98. HADÎRCĂ, M., ȚIBULEAC, A. Tendințe globale în educație și impactul lor asupra dezvoltării învățământului din Republica Moldova. In: *Acta et Commentationes (Științe ale Educației)*. 2021, 1(23), 97-105. Disponibil: <https://doi.org/10.36120/2587-3636.v23i1.97-105>
99. HANSSON, L., LEDEN, L. Working with the nature of science in physics class: Turning "ordinary" classroom situations into nature of science learning situations. In: *Phys. Educ.* 2016, 51(5):055001. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/51/5/055001>
100. HARLEN, W. *Taking inquiry-based science education into secondary education*. International Academy of Education Science Education Programme, 2010. Disponibil: <https://www.ase.org.uk/bigideas>
101. HATTIE, J. A. C. *Hattie's 2017 updated list of factors influencing student achievement*. Visible Learning Plus, 2017.
102. HATTIE, J. A. C. *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge, 2008. Disponibil: <https://doi.org/10.4324/9780203887332>
103. HATTIE, J. A. C., DONOGHUE, G. M. Learning strategies: A synthesis and conceptual model. In: *npj Science of Learning*. 2016, 1, Article 16013. Disponibil: <https://doi.org/10.1038/npjscilearn.2016.13>
104. HATTIE, J. *Hattie ranking: 252 influences and effect sizes related to student achievement*. 2018. Disponibil: <https://visible-learning.org/hattie-ranking-influences-effect-sizes-learning-achievement/>

105. HATTIE, J., YATES, G. C. R. Visible learning and the science of how we learn. London: Routledge, 2014. Disponibil: <https://doi.org/10.4324/9781315885025>
106. HAZARI, Z., SONNEVELDT, C., RODRIGUEZ, S., TAI, R. Examining high school physics contexts that support girls' physics identity development. In: *Journal of Research in Science Teaching*. 2010, 47(8), 978-1003.
107. HELLE, L., TYNJÄLÄ, P., OLKINUORA, E. Project-based learning in post-secondary education: Theory, practice and rubber sling shots. In: *Higher Education*. 2006, 51(2), 287-314. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s10734-004-6386-5>
108. HELLER, P., KEITH, R., ANDERSON, S. Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. In: *American Journal of Physics*. 1992, 60(7), 627-636. Disponibil: <https://doi.org/10.1119/1.17117>
109. HMELO-SILVER, C. E. Problem-based learning: What and how do students learn. In: *Educational Psychology Review*. 2004, 16(3), 235-266. Disponibil: <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
110. HMELO-SILVER, C. E., BARROWS, H. S. Facilitating the development of problem-solving skills in physics education. In: *Science Education*. 2007, 91(1), 17-29. Disponibil: <https://doi.org/10.1002/sce.20157>
111. JENSEN, J. L., KUMMER, T. A., GODOY, P. D. D. M. Improvements from a flipped classroom may simply be the fruits of active learning. In: *CBE--Life Sciences Education*. 2015, 14(1), Article ar5. Disponibil: <https://doi.org/10.1187/cbe.14-08-0129>
112. JEONG, J. S., CAÑADA-CAÑADA, F., GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. The study of flipped-classroom for pre-service science teachers. In: *Education Sciences*. 2018, 8(4), Article 163. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/educsci8040163>
113. JOHNSON, D. W., JOHNSON, R. T. *Cooperation and competition: Theory and research*. Interaction Book Company, 1989.
114. JOIȚA, E., coord. *Profesorul și alternativa constructivistă a instruirii: Material suport pedagogic pentru studenții viitori profesori (II)*. Craiova: Universitatea din Craiova, 2007. Disponibil: http://cis01.central.ucv.ro/DPPD/profesorul%20_si_alternativa_constructivista_a_instruirii.pdf
115. JONASSEN, D. H. *Learning to solve problems with technology: A constructivist perspective*. Merrill, 2003. Disponibil: <https://doi.org/10.4324/9781315796568>
116. KALENDER, Z. Y., STUMP, E., HUBENIG, K., HOLMES, N. G. Restructuring physics labs to cultivate sense of student agency. In: *Physical Review Physics Education Research*.

- 2021, 17(2), Article 020128. Disponibil: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020128>
117. KARAMUSTAFAOĞLU, O. Active learning strategies in physics teaching. In: *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies*. 2009, 1(1), 27-50.
 118. KARIM, N. I., MARIES, A., SINGH, C. Impact of evidence-based flipped or active-engagement non-flipped courses on student performance in introductory physics. In: *Canadian Journal of Physics*. 2018, 96(8), 795-803. Disponibil: <https://doi.org/10.1139/cjp-2017-0171>
 119. KIM, H., KOO, N. Analysis of science instruction in Korea based on the results of PISA questionnaire. In: *Journal of Curriculum and Evaluation*. 2019, 22(4), 85-104. Disponibil: <https://doi.org/10.29221/jce.2019.22.4.85>
 120. KIM, J. S. The effects of a constructivist teaching approach on student academic achievement, self-concept, and learning strategies. In: *Asia Pacific Education Review*. 2005, Vol. 6, No. 1, 7-19. Disponibil: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ728823.pdf>
 121. KIRSCHNER, P. A., SWELLER, J., CLARK, R. E. Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. In: *Educational Psychologist*. 2006, 41(2), 75-86. Disponibil: https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
 122. KISHIMOTO, C. T., ANDERSON, M. G., SALAMON, J. P. *Flipping the large-enrollment introductory physics classroom*. Cornell University, 2018. Disponibil: <https://arxiv.org/abs/1807.03850>
 123. KOLA, A. J. Investigating conceptual understanding of physics through interactive-engagement lecture. In: *Cumhuriyet International Journal of Education*. 2017, 6(1), 82-96.
 124. KOLB, D. A. *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall, 1984. Disponibil: <https://doi.org/10.4324/9780133892406>
 125. KORFF, J. V. et al. Secondary Analysis of Teaching Methods in Introductory Physics: a 50k-Student Study. In: *American Journal of Physics*. 2016, 84(12). Disponibil: <https://doi.org/10.1119/1.4964354>
 126. KORTHAGEN, F. A. J., KESSELS, J., KOSTER, B., WUBBELS, T., SWENNEN, A. *Linking practice and theory: The pedagogy of realistic teacher education*. Routledge, 2001. Disponibil: <https://doi.org/10.4324/9780203453797>
 127. KOTZEE, B. Seven posers in the constructivist classroom. In: *London Review of Education*. 2010, 8(2), 177-187. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/14748460.2010.487340>

128. KOZMA, R. B., RUSSELL, J. D. Multimedia and understanding: The role of representation in learning physics. In: *International Journal of Science Education*. 2005, 27(5), 631-652. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/0950069042000323734>
129. KUHN, T. S. *The structure of scientific revolutions*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1962.
130. LIU, J., TAHRI, D., QIANG, F. How does active learning pedagogy shape learner curiosity? A multi-site mediator study of learner engagement among 45,972 children. In: *Journal of Intelligence*. 2024, 12(6), 59. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/jintelligence12060059>
131. LOCKE, J. *An essay concerning human understanding*. 1690. Disponibil: <https://doi.org/10.1093/oseo/instance.00024635>
132. MANN, H. *Twelfth annual report of the secretary of the Massachusetts Board of Education*. 1855.
133. MANSOR, R., HALIM, L., OSMAN, K. Teachers' knowledge that promote students' conceptual understanding. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2010, 9, 1835-1839. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.12.410>
134. MARGOLIS, A. A. Zone of proximal development, scaffolding and teaching practice. In: *Cultural-Historical Psychology*. 2020, 16(3), 15-26. Disponibil: <https://doi.org/10.17759/chp.2020160303>
135. MARIN, A., DOBRE, L. *Teorii ale învățării și aplicații educaționale*. București: Editura Didactică și Pedagogică, 2017.
136. MASLOW, A. H. A theory of human motivation. In: *Psychological Review*. 1943, 50(4), 370-396. Disponibil: <https://doi.org/10.1037/h0054346>
137. MAZUR, E. *Peer instruction: A user's manual*. Prentice Hall, 1997.
138. MCDERMOTT, L. C. Physics education research: The key to student learning. In: *American Journal of Physics*. 2001, 69(11), 1127-1137. Disponibil: <https://doi.org/10.1119/1.1389280>
139. MELTZER, D. E., THORNTON, R. K. Resource letter ALIP-1: Active-learning instruction in physics. In: *American Journal of Physics*. 2012, 80(6), 478-496. Disponibil: <https://doi.org/10.1119/1.3678299>
140. MILLIS, B. J. *Using metacognition to promote learning* (IDEA Paper No. 63). IDEA Center, 2016.
141. MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA. *Concepția disciplinei școlare Fizică. Astronomie*. 2026. Disponibil: <https://drive.google.com/file/d/1IR8-8kuyAIHtXKS4-6CjOHAfZTDi/view>

142. MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA. *Fizică. Astronomie: Curriculum pentru cl. a 10-a - a 12-a*. Ch.: Î.E.P. Știința, 2010 (Tipografia „Elena V.I.” SRL). 28 p. ISBN 978-9975-67-667-0. Disponibil: https://mec.gov.md/sites/default/files/fizica-astronomie_x-xii_romana.pdf
143. MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA. *Ghid de implementare a curriculumului Fizică. Astronomie* (78 p.). 2019. Disponibil: <https://mecc.gov.md/sites/default/files/ghidfizicaliceu.pdf>
144. MOLIN, F., HAELERMANS, C., CABUS, S., GROOT, W. The effect of feedback on metacognition: A randomized experiment using polling technology. In: *Computers & Education*. 2020, 152, Article 103885. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103885>
145. MOMANU, M. Paradigma constructivistă în teoria și practica educației. In: *Colocviul Internațional „Științe ale Educației - Dinamică și perspectivă”* (Ed. a IV-a). Editura Universității din Suceava, 2006, pp. 39-50.
146. NAILS, D. *The people of Plato: A prosopography of Plato and other Socratics*. Indianapolis, IN: Hackett Publishing, 2002.
147. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academies Press, 2000.
148. NEO, M., NEO, T. K. Engaging students in multimedia-mediated constructivist learning-- Students' perceptions. In: *Educational Technology & Society*. 2009, 12(2), 254-266.
149. NICOL, D. J., BOYLE, J. T. Peer instruction versus class-wide discussion in large classes: A comparison of two interaction methods in the wired classroom. In: *Studies in Higher Education*. 2003, 28(4), 457-473. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/0307507032000122297>
150. NIKAJ, K., GEGA, E., GUZINA, M., IFTI, M. The dynamics of physics student enrollment: A comparative study of Albanian and European universities over the last 20 years. In: *The Paris Conference on Education 2025 Official Conference Proceedings*. 2025, pp. 909-916. Disponibil: <https://doi.org/10.22492/issn.2758-0962.2025.71>
151. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *PISA 2015 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematics and financial literacy and collaborative problem solving* (Rev. ed.). Paris: OECD Publishing, 2017. Disponibil: <https://doi.org/10.1787/9789264281820-en>

152. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. (OECD)
Future of Education and skills 2030: OECD learning compass 2030. Paris: OECD Publishing, 2019. Disponibil:
https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/projects/edu/education-2040/concept-notes/OECD_Learning_Compass_2030_concept_note.pdf
153. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. (OECD)
PISA 2025 science framework (Draft). Paris: OECD Publishing, 2023. Disponibil:
https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/assets/docs/PISA_2025_Science_Framework.pdf
154. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. (OECD)
The state of global teenage career preparation. Paris: OECD Publishing, 2025. Disponibil:
https://www.oecd.org/en/publications/the-state-of-global-teenage-career-preparation_d5f8e3f2-en/full-report.html
155. OSBORNE, J., ERDURAN, S., SIMON, S. Enhancing the quality of argumentation in school science. In: *Journal of Research in Science Teaching*. 2004, 41(10), 994-1020. Disponibil: <https://doi.org/10.1002/tea.20035>
156. PEKRUN, R. *Emotion and learning*. International Academy of Education, 2005.
157. PERKINS, D. Technology meets constructivism. In: *Educational Technology*. 1991, 31(9), 19-21.
158. PESTALOZZI, J. H. *How Gertrude teaches her children*. 1899. Disponibil: <https://doi.org/10.1037/14312-000>
159. PETRESCU, A.-M., GORGHIU, G., DRĂGHICESCU, L. The advantages of collaborative learning in science lessons. In: *LUMEN Proceedings*. 2017, 2, 326-333. Disponibil: <https://doi.org/10.18662/lumproc.icsed2017.36>
160. PHILLIPS, J. A. Student self-assessment and reflection in a learner-controlled environment. In: *2016 Physics Education Research Conference Proceedings*. American Association of Physics Teachers, 2016, pp. 296-299. Disponibil: <https://doi.org/10.1119/perc.2016.pr.055>
161. PIAGET, J. Piaget's theory. In: INHELDER, B., CHIPMAN, H. H., ed. *Piaget and his school*. Springer, 1976, pp. 11-23.
162. PIAGET, J. *Psihologie și pedagogie: Răspunsurile marelui psiholog la problemele învățământului*. București: Editura Didactică și Pedagogică, 1972.
163. PIAGET, J. *The psychology of intelligence*. Routledge, 2001. Disponibil: <https://doi.org/10.4324/9781315009675>
164. PIAGET, J. *The psychology of the child*. New York: Basic Books, 1972.

165. PIAGET, J. *To understand is to invent: The future of education*. Grossman Publishers, 1973.
166. PICO DELLA MIRANDOLA, G. *Oration on the dignity of man*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2012. Disponibil: https://doi.org/10.4159/DLCL.pico_oration.1956
167. PÎRVU, I., CUCOȘ, C. Actualitatea concepției despre educație a Sfântului Ioan Gură de Aur. In: *Revista de Pedagogie*. 2023, 71(1), 261-284. Disponibil: <https://doi.org/10.26755/RevPed/2023.1/261>
168. PLUMMER, J. D., KRAJCIK, J. S. Building a learning progression for celestial motion: Elementary levels from an Earth-based perspective. In: *Journal of Research in Science Teaching*. 2010, 47(7), 768-787. Disponibil: <https://doi.org/10.1002/tea.20355>
169. POSTĂN, L. Constructivismul în educație: Optimizarea valențelor liberale și sociale ale competențelor. In: *Materialele Conferinței Republicane a Cadrelor Didactice: Psihopedagogia învățământului primar și preșcolar* (Vol. 4). Universitatea de Stat din Tiraspol, 2018, pp. 252-254.
170. PRASETYO, B. D., KANIAWATI, I., SETIAWAN, A. The effectiveness of flipped classroom learning model in secondary physics classroom setting. In: *Journal of Physics: Conference Series*. 2018, 997(1), Article 012037. Disponibil: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/997/1/012037>
171. QARAREH, A. O. The effect of using the constructivist learning model in teaching science on the achievement and scientific thinking of 8th grade students. In: *International Education Studies*. 2016, 9(7), 178-196.
172. REDISH, E. F. *Teaching physics with the physics suite*. John Wiley & Sons, 2003.
173. REDISH, E. F., SAUL, J. M., STEINBERG, R. N. On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories. In: *American Journal of Physics*. 1997, 65(1), 45-54. Disponibil: <https://doi.org/10.1119/1.18498>
174. RODRIGUEZ, L. V., et al. Designing inquiry-based learning environments for quantum physics education in secondary schools. In: *Physics Education*. 2020, 55(6), Article 065026.
175. RODRIGUEZ, M., POTVIN, G. Frequent small group interactions improve student learning gains in physics: Results from a nationally representative pre-post study of four-year colleges. In: *Physical Review Physics Education Research*. 2021, 17(2), Article 020131. Disponibil: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020131>
176. ROGERS, C. R. *Client-centered therapy: Its current practice, implications, and theory*. Houghton Mifflin, 1951. Disponibil: <https://doi.org/10.1037/10721-000>
177. ROUSSEAU, J.-J. *Emile, or on education*. J. M. Dent & Sons, 1911. Disponibil: <https://doi.org/10.1093/oseo/instance.00025280>

178. RUDOLPH, J. L. *How we teach science: What's changed, and why it matters*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2019. Disponibil: <https://doi.org/10.4159/9780674240377>
179. SANDULEAC, S. Modelarea gândirii științifice a elevilor în activitățile educaționale. In: *Kreatikon. Creativitate. Formare. Performanță*, Ed. 18, 30 martie - 1 aprilie 2023, Iasi. Iași: Profesioniștii Imprimărilor din Moldova, Iași, 2023, Ediția 18.R , pp. 68-73. ISSN 2068 - 1372. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-68-73_1.pdf
180. SAWYER, R. K., ed. Interest and the development of curiosity. In: *The Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge University Press, 2006, pp. 257-271.
181. SCHARFF, L., AHUNA, S., LLOYD, M. Exploring metacognition as support for learning transfer. In: *Teaching & Learning Inquiry*. 2017, 5(1), 1-14. Disponibil: <https://doi.org/10.20343/teachlearninqu.5.1.7>
182. SCHMIDT, J. A., ROSENBERG, J. M., BEYMER, P. N. A person-in-context approach to student engagement in science: Examining learning activities and choice. In: *Journal of Research in Science Teaching*. 2018, 55(1), 19-43.
183. SCHÖN, D. A. *The reflective practitioner: How professionals think in action* (1st ed.). Routledge, 1992. Disponibil: <https://doi.org/10.4324/9781315237473>
184. SCHRAW, G., CRIPPEN, K. J., HARTLEY, K. Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. In: *Research in Science Education*. 2006, 36(1-2), 111-139. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s11165-005-3917-8>
185. SEMERCI, Ç., BATDI, V. A meta-analysis of constructivist learning approach on learners' academic achievements, retention and attitudes. In: *Journal of Education and Training Studies*. 2015, 3(2), 171-180. Disponibil: <https://doi.org/10.11114/jets.v3i2.644>
186. SHAPIRO, S. L., TEUKOLSKY, S. A. *Black holes, white dwarfs, and neutron stars: The physics of compact objects*. John Wiley & Sons, 1983.
187. STEIDTMANN, L., KLEICKMANN, T., STEFFENSKY, M. Declining interest in science in lower secondary school: Quasi-experimental and longitudinal evidence on the role of teaching and teaching quality. In: *Journal of Research in Science Teaching*. 2023, 60(1), 1-33. Disponibil: <https://doi.org/10.1002/tea.21794>
188. STOECKEL, M. R., ROEHRIG, G. H. Gender differences in classroom experiences impacting self-efficacy in an AP Physics 1 classroom. In: *Physical Review Physics Education Research*. 2021, 17(2), Article 020102. Disponibil: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020102>

189. TABER, K. S. Educational Constructivism. In: *Encyclopedia*. 2024, 4(4), 1534-1552. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4040100>
190. TERCU, J.-O., CHISTOL, V. Automation and research competence in extracurricular astronomy activities for gifted students. In: *Acta Technica Napocensis. Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering*. 2024, 67(Special Issue II), 655-662.
191. THOMAS, J. W. *A review of research on project-based learning*. The Autodesk Foundation, 2000.
192. TRIKOILIS, D. ICT implementation to improve rural students' achievement in physics. In: *European Journal of Physics Education*. 2021, 12(2), 22-33.
193. UWAMAHORO, J., NDIHOKUBWAYO, K., RALPH, M., NGABO, P. C., GAHAMANYI, B. Physics students' conceptual understanding of geometric optics: Revisited analysis. In: *Journal of Science Education and Technology*. 2021, 30(5), 706-718. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09913-4>
194. UWAMAHORO, J., UWORWABAYEHO, A., NDAYAMBAJE, I., NSENGIMANA, T. Physics laboratory activities and students' conceptual understanding of physics concepts: Evidence from secondary schools. In: *Journal of Baltic Science Education*. 2021, 20(4), 648-662.
195. VAN KORFF, J., GOMEZ, K. A., ARCHIBEQUE, B., JONES, C., EBARB, S. B., SAYRE, E. C. Secondary analysis of teaching methods in introductory physics: A 50k-student study. In: *American Journal of Physics*. 2016, 84(12), 944-954. Disponibil: <https://doi.org/10.1119/1.4964354>
196. VÎGOTSKI, L. S. *Opere psihologice alese* (Vol. 1-2). București: Editura Didactică și Pedagogică, 1971.
197. VON GLASERSFELD, E. *Radical constructivism: A way of knowing and learning*. Routledge, 1995. Disponibil: <https://doi.org/10.4324/9780203454220>
198. VYGOTSKY, L. S. *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978. Disponibil: <https://doi.org/10.4324/9780203505928>
199. WALAN, S. Embracing digital technology in science classrooms--Secondary school teachers' enacted teaching and reflections on practice. In: *Journal of Science Education and Technology*. 2020, 29(3), 431-441. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09828-6>
200. WALLACE, C. S., PRATHER, E. E., MILSOM, J. A., JOHNS, K., MANNE, S. Students taught by a first-time instructor using active-learning teaching strategies outperform students

- taught by a highly-regarded traditional instructor. In: *Journal of College Science Teaching*. 2021, 50(4), 48-57. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/0047231X.2021.12290517>
201. WALSH, C., LEWANDOWSKI, H. J., HOLMES, N. G. Skills-focused lab instruction improves critical thinking skills and experimentation views for all students. In: *Physical Review Physics Education Research*. 2022, 18(1), Article 010128. Disponibil: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010128>
 202. WATTS, M., POPE, M. Thinking about thinking, learning about learning: Constructivism in physics education. In: *Physics Education*. 1989, 24(6), 326-331.
 203. WHITE, S., CHU, R. Y., OMAN, J. Has the number of students taking physics in US high schools declined? Preliminary results from the 2023-2024 nationwide survey of high school physics. In: *Physics Today*. 2025. Disponibil: <https://doi.org/10.1063/pt.6.3.20250310a>
 204. WIGGINS, G., MCTIGHE, J. *Understanding by design* (2nd ed.). ASCD, 2005.
 205. WU, H.-K., SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. In: *Science Education*. 2004, 88(3), 465-492. Disponibil: <https://doi.org/10.1002/sce.10130>
 206. ZACHARIA, Z. C. The impact of a web-based simulation on learning about the principles of physics. In: *International Journal of Science Education*. 2007, 29(12), 1565-1584. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/09500690600773171>
 207. **ZELENSCHI, I.** Premise constructiviste în noua concepție a disciplinei Fizică și Astronomie. In: *Perspective interdisciplinare asupra cunoașterii*, 8 mai 2026, Chișinău UPSC, pp. 134-139. ISBN 978-9975-48-419-0. <https://doi.org/10.46727/c.08-05-2026.p134-139>
 208. **ZELENSCHI, I.** Evoluția și analiza comparativă a paradigmelor educaționale. In: *Univers Pedagogic*, 2025, nr. 4(88), pp. 91-98. ISSN 1811-5470. <https://doi.org/10.52387/1811-5470.2025.4.12>
 209. **ZELENSCHI, I., CALALB, M..** Applying the flipped classroom method in studying rotational equilibrium in 7th grade physics. In: *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe ale Educației)*, 2024, nr. 9(179), pp. 217-223. ISSN 1857-2103. [https://doi.org/10.59295/sum9\(176\)2024_31](https://doi.org/10.59295/sum9(176)2024_31)
 210. ZIMMERMAN, B. J. Self-efficacy: An essential motive to learn. In: *Contemporary Educational Psychology*. 2000, 25(1), 82-91. Disponibil: <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1016>
 211. ZIMMERMAN, B. J. Self-regulated learning and academic achievement: An overview. In: *Educational Psychologist*. 1990, 25(1), 3-17. Disponibil: https://doi.org/10.1207/s15326985ep2501_2

212. ДАВИДЕНКО А. А. *Экспериментальные задачи как средство повышения уровня и качества знаний учащихся по физике*: автореф. дис. канд. пед. наук: 13.00.02 / Нац. пед. ун-т им. М. П. Драгоманова. – Киев, 1991. – 22 с. Disponibil: <https://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/24839>.
213. ДАВИДЕНКО А. А. *Методика розвитку творчих здібностей учнів у процесі навчання фізики (теоретичні основи)*. Ніжин: ТОВ “Видавництво “Аспект Поліграф”, 2004. – 264 с.
214. ДАВИДЕНКО, А. Роль інформаційно-комунікаційних технологій в учебном процесі по фізиці. In: *Acta et commentationes (Științe ale Educației)*, 2021, nr. 4(26), pp. 17-27. ISSN 1857-0623. DOI: <https://doi.org/10.36120/2587-3636.v26i4.17-27>

ANEXE

Anexa 1. Mărima efectului strategiilor didactice asupra performanței academice a elevilor conform teoriei învățării și predării vizibile

Legendă, mărimea efectului:

Foarte mare ($d \geq 0.80$); Mare (0.60–0.79); Peste medie (0.40–0.59);

Mediu (0.25–0.39); Scăzut (<0.25).

Rang	Strategie / Influență	Domeniu	Subdomeniu	d	Nivel
#1	Eficacitatea colectivă a profesorilor	Școală	Leadership	1.57	Foarte mare
#2	Note auto-raportate de elevi	Elev	Cunoștințe anterioare	1.33	Foarte mare
#3	Estimările profesorilor asupra realizărilor elevului	Profesor	Atributele profesorului	1.29	Foarte mare
#4	Analiza cognitivă a sarcinilor	Predare	Intenții de învățare	1.29	Foarte mare
#5	Răspuns la intervenție	Predare	Strategii de feedback	1.29	Foarte mare
#6	Programe piagetiene	Elev	Cunoștințe anterioare	1.28	Foarte mare
#7	Metoda mozaicului	Predare	Strategii instructionale	1.20	Foarte mare
#8	Programe de schimbare conceptuală	Curriculum	Alte programe	0.99	Foarte mare
#9	Abilitate anterioară	Elev	Cunoștințe anterioare	0.94	Foarte mare
#10	Strategie de integrare cu cunoștințele anterioare	Predare	Strategii de învățare	0.93	Foarte mare
#11	Auto-eficacitate	Elev	Credințe și atitudini	0.92	Foarte mare
#12	Credibilitatea profesorului	Profesor	Atributele profesorului	0.90	Foarte mare

#13	Notițe scurte / Analiza lecțiilor video	Profesor	Formarea profesorilor	0.88	Foarte mare
#14	Strategii de transfer	Predare	Meta-cogniție	0.86	Foarte mare
#15	Discuție în clasă	Predare	Strategii de feedback	0.82	Foarte mare
#16	Eșafodaj (sprijin gradual)	Predare	Strategii instructionale	0.82	Foarte mare
#17	Antrenament conștient	Predare	Strategii de învățare	0.79	Mare
#18	Rezumare	Predare	Strategii de învățare	0.79	Mare
#19	Efort	Predare	Strategii de învățare	0.77	Mare
#20	Intervenții pentru elevi cu nevoi speciale	Predare	Strategii la nivel de școală	0.77	Mare
#21	Mnemonică	Predare	Strategii de învățare	0.76	Mare
#22	Planificare și predicție	Predare	Intenții de învățare	0.76	Mare
#23	Programe de lectură repetată	Curriculum	Lectură și scriere	0.75	Mare
#24	Claritatea profesorului	Profesor	Atributele profesorului	0.75	Mare
#25	Elaborare și organizare	Predare	Meta-cogniție	0.75	Mare
#26	Evaluare și reflecție	Predare	Meta-cogniție	0.75	Mare
#27	Predare reciprocă	Predare	Strategii instructionale	0.74	Mare
#28	Repetiție și memorare	Predare	Strategii de învățare	0.73	Mare
#29	Programe instructionale comprehensive	Curriculum	Lectură și scriere	0.72	Mare
#30	Căutarea ajutorului	Predare	Meta-cogniție	0.72	Mare
#31	Instrucție fonică	Curriculum	Lectură și scriere	0.70	Mare
#32	Feedback	Predare	Strategii de feedback	0.70	Mare
#33	Motivație profundă și abordare	Elev	Motivație	0.69	Mare
#36	Obiective de învățare vs. fără obiective	Predare	Intenții de învățare	0.68	Mare
#37	Predarea prin rezolvare de probleme	Predare	Strategii instructionale	0.68	Mare
#38	Schițare și transformare	Predare	Strategii de învățare	0.66	Mare

#39	Cartografiere conceptuală	Predare	Intenții de învățare	0.64	Mare
#40	Programe de vocabular	Curriculum	Lectură și scriere	0.62	Mare
#41	Programe de creativitate	Curriculum	Alte programe	0.62	Mare
#43	Standarde pentru auto-evaluare	Predare	Intenții de învățare	0.62	Mare
#44	Profesorii care nu etichetează elevii	Profesor	Relații profesor-elev	0.61	Mare
#46	Strategii meta-cognitive	Predare	Meta-cogniție	0.60	Mare
#47	Practică spațiată vs. masivă	Predare	Strategii de învățare	0.60	Mare
#48	Instrucție directă	Predare	Strategii instrucționale	0.60	Mare
#50	Obiective adecvat provocatoare	Predare	Intenții de învățare	0.59	Peste medie
#57	Învățare prin stăpânire (mastery learning)	Predare	Criterii de succes	0.57	Peste medie
#58	Strategii de predare explicite	Predare	Strategii instrucționale	0.57	Peste medie
#63	Auto-verbalizare și auto-interogare	Predare	Meta-cogniție	0.55	Peste medie
#64	Învățare cooperativă vs. individuală	Predare	Strategii instrucționale	0.55	Peste medie
#66	Testare practică	Predare	Strategii de învățare	0.54	Peste medie
#71	Instruirea mutuală	Predare	Perspective ale elevilor	0.53	Peste medie
#72	Învățare cooperativă vs. competitivă	Predare	Strategii instrucționale	0.53	Peste medie
#75	Relații profesor-elev	Profesor	Relații profesor-elev	0.52	Peste medie
#76	Strategii de auto-reglare	Predare	Meta-cogniție	0.52	Peste medie
#81	Luare de notițe	Predare	Strategii de învățare	0.50	Peste medie
#82	Subliniere și evidențiere	Predare	Strategii de învățare	0.50	Peste medie

#83	Durata concentrării asupra sarcinii	Predare	Strategii de învățare	0.49	Peste medie
#86	Claritatea obiectivelor	Predare	Intenții de învățare	0.48	Peste medie
#87	Evaluare formativă	Predare	Strategii de feedback	0.48	Peste medie
#88	Chestionare	Predare	Strategii de feedback	0.48	Peste medie
#92	Învățare în grupuri mici	Clasă	Compoziția clasei	0.47	Peste medie
#102	Predare inductivă	Predare	Strategii instrucționale	0.44	Peste medie
#107	Așteptările profesorului	Profesor	Atributele profesorului	0.43	Peste medie
#108	Filosofie în școli	Predare	Strategii instrucționale	0.43	Peste medie
#109	Predarea abilităților de comunicare	Predare	Strategii instrucționale	0.43	Peste medie
#112	Interogare elaborativă	Predare	Meta-cogniție	0.42	Peste medie
#113	Organizatori comportamentali	Predare	Intenții de învățare	0.42	Peste medie
#120	Învățare cooperativă	Predare	Strategii instrucționale	0.40	Peste medie
#121	Predare prin investigație	Predare	Strategii instrucționale	0.40	Peste medie
#128	Exemple rezolvate	Predare	Criterii de succes	0.37	Mediu
#131	Predare centrată pe elev	Predare	Intervenții focusate pe elev	0.36	Mediu
#134	Management al clasei	Clasă	Influențe în clasă	0.35	Mediu
#135	Jocuri / Simulări	Predare	Implementări tehnologice	0.35	Mediu
#139	Învățare colaborativă	Predare	Strategii instrucționale	0.34	Mediu
#140	Predarea gândirii creative	Predare	Strategii la nivel de școală	0.34	Mediu
#147	Mijloace auxiliare	Predare	Strategii instrucționale	0.32	Mediu

#152	Pregătire pentru testare	Predare	Strategii de învățare	0.30	Mediu
#159	Teme pentru acasă	Predare	Implementări extrașcolare	0.29	Mediu
#170	Învățare bazată pe probleme (PBL)	Predare	Strategii instructionale	0.26	Mediu
#171	Utilizarea PowerPoint	Predare	Implementări tehnologice	0.26	Mediu
#175	Învățare competitivă vs. individuală	Predare	Strategii instructionale	0.24	Scăzut
#179	Instrucție individualizată	Predare	Intervenții focusate pe elev	0.23	Scăzut
#188	Predare prin descoperire	Predare	Strategii instructionale	0.21	Scăzut
#197	Învățare bazată pe web	Predare	Implementări tehnologice	0.18	Scăzut
#230	Umor	Predare	Strategii instructionale	0.04	Scăzut

Sursa: Hattie, J. (2017). Visible Learning. Cohen's d — mărimea efectului calculată prin meta-analiză pe baza a peste 1.200 de studii.

Anexa 2. Rezultatele testărilor PISA la științe

Programul pentru Evaluarea Internațională a Elevilor (PISA – Programme for International Student Assessment), coordonat de OECD, evaluează la fiecare 3 ani competențele elevilor de 15 ani în domeniile: lectură, matematică și științe. Domeniul științelor vizează capacitatea elevilor de a explica fenomene științifice, de a interpreta date și de a aplica cunoștințele în contexte reale.

Tabelul 1. Rezultatele PISA la științe (medii comparative)

An evaluare	Media OECD	Republica Moldova	Diferență față de media OECD
2015	493	428	-65
2018	489	421	-68
2022	485	414	-71

Tabelul 2. Distribuția elevilor pe niveluri de competență (PISA 2022 – Științe)

Nivel PISA	Descriere competență	Republica Moldova (%)
Nivel 1 și sub	Competențe de bază insuficiente	~50%
Nivel 2	Nivel minim funcțional	~30%
Nivel 3–4	Nivel mediu	~18%
Nivel 5–6	Nivel înalt (performanță avansată)	~2%

Interpretarea rezultatelor

Datele indică faptul că performanța elevilor din Republica Moldova la științe se situează constant sub media OECD, cu o diferență de aproximativ 65–70 de puncte. Se observă o ușoară tendință descendentă în perioada analizată.

Proporția ridicată a elevilor aflați sub nivelul minim de competență (nivel 2) evidențiază dificultăți în aplicarea cunoștințelor științifice în contexte practice. În același timp, procentul elevilor cu performanțe înalte este foarte redus.

Sursa: OECD., *PISA 2022 Results — Country Note: Republica Moldova*, OECD Publishing, 2023. Paris. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/moldova_23239952-en.html

Anexa 3. Structura modelului 5E

Modelul didactic 5E este un model constructivist de predare–învățare, elaborat de Biological Sciences Curriculum Study, care organizează procesul educațional în cinci etape succesive. Acest model pune accent pe implicarea activă a elevului și pe construirea cunoștințelor prin experiență.

Tabelul 1. Etapele modelului 5E și caracteristicile acestora

Etapa (5E)	Denumire (RO)	Rolul profesorului	Activitatea elevului
Engage	Captarea atenției	Creează interes, formulează întrebări, identifică cunoștințele anterioare	Răspunde, formulează ipoteze, își exprimă ideile
Explore	Explorare	Propune activități experimentale, ghidează indirect	Investigă, experimentează, colectează date
Explain	Explicare	Clarifică concepte, oferă explicații științifice	Explică rezultatele, formulează concluzii
Elaborate	Elaborare	Extinde învățarea în contexte noi	Aplică cunoștințele în situații diferite
Evaluate	Evaluare	Evaluează progresul, oferă feedback	Reflectă asupra învățării, demonstrează competențe

Modelul 5E facilitează o învățare activă, centrată pe elev, contribuind la dezvoltarea gândirii critice și a competențelor științifice. Prin structura sa logică și progresivă, acesta este eficient în predarea disciplinelor experimentale, precum fizica.

Sursa: Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., & Van Scotter, P. (2006). The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness. Biological Sciences Curriculum Study.

<https://www.semanticscholar.org/paper/The-BSCS-5E-Instructional-Model%3A-Origins-and-Bybee-Taylor/c1483e0b18dc2109ba4eb2aa3580d6bd865e6e79>

Anexa 4. Unități de competență la capitolul „Lucrul mecanic, puterea și energia mecanică” din cursul de fizică de clasa a VII-a

1. Definirea mărimilor fizice: lucrul mecanic efectuat de forțe constante, puterea și energia mecanică, energia cinetică și energia potențială gravitațională.
2. Aplicarea legii conservării energiei mecanice la rezolvarea problemelor/situațiilor-problemă.
3. Extrapolarea cunoștințelor despre conservarea energiei mecanice la studiul mișcării corpurilor.
4. Aplicarea mărimilor fizice (lucrul mecanic efectuat de forțe constante, puterea și energia mecanică, energia cinetică și energia potențială gravitațională) la rezolvarea problemelor.
5. Aplicarea mărimilor fizice (lucrul mecanic efectuat de forțe variabile, energia potențială elastică) la rezolvarea problemelor.

Sursa: Curriculum Național la Fizică pentru clasele VI–IX, Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova, Chișinău, 2020

https://mecc.gov.md/sites/default/files/fizica_gimnaziu_ro.pdf

Anexa 5. Structura conceptului Natura Științei (NOS)

Conceptul de Natura Științei (*Nature of Science – NOS*) reprezintă totalitatea caracteristicilor care definesc modul în care este construită, validată și dezvoltată cunoașterea științifică. În educația modernă, NOS contribuie la dezvoltarea alfabetizării științifice și a gândirii critice a elevilor.

Reprezentare schematică



Componentele principale ale Conceptului Natura Științei (NOS)

1. Caracterul empiric al științei

Cunoașterea științifică se bazează pe:

- observații;
- experimente;
- măsurători;
- colectarea și analiza datelor.

Dovezile empirice constituie fundamentul explicațiilor științifice.

2. Caracterul ipotetic al cunoașterii științifice

Cunoștințele științifice nu sunt definitive. Acestea:

- pot fi revizuite;
- complete;

- modificate în funcție de noile descoperiri și dovezi experimentale.

3. Rolul creativității și imaginației în știință

Activitatea științifică implică:

- formularea ipotezelor;
- interpretarea rezultatelor;
- elaborarea modelelor;
- dezvoltarea teoriilor.

Creativitatea este esențială în procesul cercetării.

4. Distincția dintre observație și inferență

- Observația reprezintă informația obținută direct prin simțuri sau instrumente.
- Inferența reprezintă interpretarea sau explicația datelor observate.

5. Relația dintre teorii și legi științifice

- Legile științifice descriu regularități și relații observate în natură.
- Teoriile științifice oferă explicații ale fenomenelor naturale.

Acestea au funcții diferite și complementare.

6. Dimensiunea socială și culturală a științei

Dezvoltarea științei este influențată de:

- contextul social;
- nivelul tehnologic;
- cultura societății;
- necesitățile economice și sociale.

7. Diversitatea metodelor științifice

Investigațiile științifice pot utiliza:

- experimente;
- observații;
- modelare;
- simulări;
- cercetări comparative.

Nu există o singură metodă științifică universală

Sursa: Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), Handbook of research on science education (pp. 831–880). Lawrence Erlbaum Associates.
https://www.researchgate.net/publication/281345392_Nature_of_science_Past_present_and_future

Anexa 6. Proiect didactic. Lucrare de laborator constructivistă „Determinarea vitezei medii a unui mobil”

Lucrare de laborator nr. 1: „Determinarea vitezei medii a unui mobil”

Nume, Prenume: _____ Clasa: VII- _____

Scopul lucrării: Să determinăm viteza medie a unui corp în mișcare.

Obiective operaționale

La finalul acestei lucrări, elevii vor fi capabili să:

1. Măsoare și înregistreze corect distanța și timpul în cadrul experimentului.
2. Calculeze viteza medie a unui mobil folosind datele experimentale.
3. Determine eroarea de măsurare a vitezei medii.
4. Compare valorile obținute și să formuleze concluzii relevante.

1. PROVOCARE – Gândește înainte să măsoari!

Ai văzut vreodată cum se rostogolește o minge? Cum crezi că ai putea să afli cât de repede se mișcă?

Notează mai jos presupunerea ta înainte de experiment:

Cred că viteza mingii depinde de: _____

Estimează: cum crezi, în cât timp mingea va parcurge 3 metri?

Estimarea mea: _____ secunde. De ce crezi asta? _____

2. MATERIALE ȘI PREGĂTIRE

Bifează materialele pe care le ai la dispoziție:

- ☐ Minge (de tenis / fotbal / altă minge)
- ☐ Cronometru (sau aplicație pe telefon)
- ☐ Ruletă sau bandă metrică
- ☐ Suprafață plană (podea, coridor, curte)
- ☐ Cretă sau bandă adezivă pentru marcarea

Desenează mai jos configurația experimentului tău (punctul de start, traseul, punctul de finish):

(spațiu pentru schiță)

3. INVESTIGAȚIE – Colectarea datelor

Înainte de a porni, discutați în grup:

- Cine va lansa mingea? _____ Cine cronometrează? _____
- Cum vă asigurați că măsurătorile sunt corecte și repetabile? _____

Distanța stabilită: $d =$ _____ m (alegeți o distanță între 2 și 5 metri)

Completați tabelul cu rezultatele măsurătorilor:

Nr.	Distanța d (m)	Timpul t (s)	Viteza v (m/s)	Δv (m/s)
1				
2				
3				
4				
Medii				

Observații în timpul experimentului (ce ai remarcat, ce a fost greu, ce a surprins):

4. ANALIZĂ – Calcule și raționament

Formula vitezei medii:

$$v = \frac{d}{t}$$
$$v_{med} = \frac{(d_1 + d_2 + d_3 + d_4)}{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)}$$

$$\Delta v = |v - v_{med}|$$

Unde:

v = viteza medie (m/s)

d = distanța parcursă (m)

t = timpul de parcurgere (s)

Δv = eroarea de măsurare (m/s)

Efectuează calculele pentru fiecare măsurătoare (arată pașii):

Calculul vitezei medii și al erorii:

Rezultatul final:

$$v = (v_{med} \pm \Delta v_{med}) = \text{_____ m/s}$$

5. REFLECȚIE – Ce ai descoperit?

1. Compară estimarea ta de la început cu rezultatul real:

Estimarea mea era _____ s, iar rezultatul real a fost _____ s.

Diferența este: _____. Cum explici această diferență? _____

2. Ce factori au influențat viteza mingii în experimentul tău?

(Bifează ce ai observat și adaugă altele:)

☐ Suprafața (netedă / rugoasă)

☐ Forța cu care ai rostogolit mingea

☐ Mărimea / greutatea mingii

☐ Altele: _____

3. De ce am repetat măsurătorile de 4 ori și nu am folosit un singur rezultat?

4. Dacă distanța s-ar dubla, dar viteza ar rămâne aceeași, ce s-ar întâmpla cu timpul?

5. Cum ai putea îmbunătăți experimentul data viitoare?

6. CONCLUZIE

Completează concluzia folosind cuvintele cheie: viteză medie, distanță, timp, eroare, repetare

Conexiune cu lumea reală

Un sprinter olimpic parcurge 100 m în ~9,8 s. Care este viteza lui medie? Compară-o cu viteza mingii tale!

Calculul meu: _____

Autoevaluare: Încercuiește cum te simți după această lucrare:

☀️ Pot explica altora!

😊 Am înțeles bine

😐 Am înțeles parțial

😞 Confuz

Barem de evaluare

Criteriu	Punctaj
Ipoteză formulată + comparată cu rezultatul	1p
Tabel completat corect (date reale, unități)	2p
Calculule corecte și pași arătați	2p
Calculul erorii	1p
Rezultatul final scris corect	1p
Identificarea factorilor de influență	1p
Reflecție: justificarea repetării măsurătorilor	1p
Concluzie coerentă cu cuvintele-cheie	1p
Total	10p (+ 1p din oficiu = nota 1 garantată)

Sursa: Proiectul didactic este elaborat în conformitate cu modelul instrucțional 5E (Bybee et al., 2006). Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., & Van Scotter, P. (2006). The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness. Biological Sciences Curriculum Study. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-BSCS-5E-Instructional-Model%3A-Origins-and-Bybee-Taylor/c1483e0b18dc2109ba4eb2aa3580d6bd865e6e79>

Anexa 7. Structura generalizată a modelului constructivist de învățare „Constructivist Learning Model”

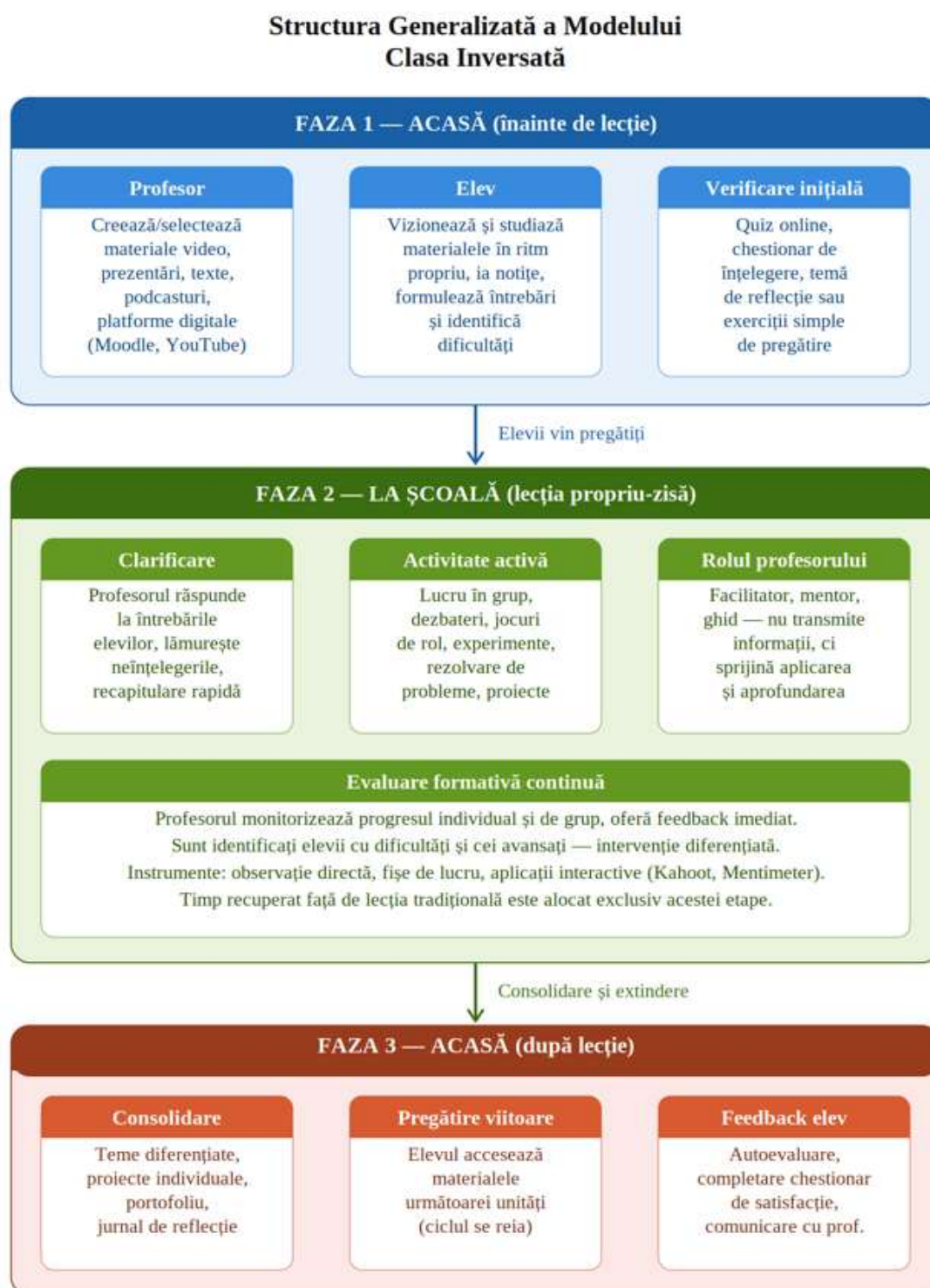


Tabelul sintetic al surselor

Etapă	Conceptul teoretic	Sursa
1. Activarea cunoștințelor	<i>Advance organizer</i> , învățare semnificativă	Ausubel, D. P. (1968). <i>Educational psychology: A cognitive view</i> . Holt, Rinehart & Winston. https://openlibrary.org/books/OL26705958M/Educational_Psychology_A_Cognitive_View
2. Stabilirea obiectivelor	Zona Proximei Dezvoltări (ZPD)	Vygotsky, L. S. (1978). <i>Mind in society: The development of higher psychological processes</i> . Harvard University Press. https://www.hup.harvard.edu/books/9780674576292
3. Explorare și construire	<i>Discovery learning</i>	Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. <i>Harvard Educational Review</i> , 31, 21–32. https://www.semanticscholar.org/paper/The-act-of-discovery.-Bruner/6a42018b90ff4ce38915c341c11f471f8e8d165f
4. Organizarea cunoștințelor	Asimilare și acomodare, scheme cognitive	Piaget, J. (1952). <i>The origins of intelligence in children</i> . International Universities Press. https://openlibrary.org/books/OL7450580M/Origins_of_Intelligence_in_Children
5. Aplicare și transfer	Internalizare socială - individuală	Lave, J., & Wenger, E. (1991). <i>Situated learning: Legitimate peripheral participation</i> . Cambridge University Press. https://www.cambridge.org/core/books/situated-learning/6915ABD21C8E4619F750A4D4ACA616CD

6. Reflecție și evaluare	Gândire reflexivă	Dewey, J. (1933). <i>How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process</i> . D.C. Heath & Co. https://archive.org/details/howwethink00dewe
7. Restructurare și extindere	Ciclul instructional 5E	Bybee, R. W. (1997). <i>Achieving scientific literacy: From purposes to practices</i> . Heinemann. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:151275152

Anexa 8. Structura generalizată a modelului Clasa Inversată



Sursa: Adaptat după Bergmann, J., & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. International Society for Technology in Education.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Flip-Your-Classroom:-Reach-Every-Student-in-Every-Sams-Bergmann/cc44d5bfbea571d647c560b61b0a77e8907d2a97>

Anexa 9.a. Proiect didactic la unitatea de învățare „Echilibrul de rotație”

Proiectul unității de învățare: Echilibrul de rotație

Clasa: a VII-a

Disciplina: Fizică

Unitatea de învățare: Echilibrul de rotație

Număr de ore alocate: 9 ore

Obiective operaționale:

- O_1 : Să definească noțiunile de moment al forței, braț al forței și axă de rotație.
- O_2 : Să determine experimental condiția de echilibru a pârghiei (regula momentelor).
- O_3 : Să clasifice pârghiile și scripetii și să identifice elementele lor.
- O_4 : Să calculeze lucrul forței active și rezistente pentru mecanisme simple.
- O_5 : Să aplice cunoștințele în rezolvarea problemelor și explicarea sistemului locomotor.

Planificarea detaliată a activităților

Unități de competență	Unități de conținut	Obiective operaționale	Activități de învățare	Resurse: materiale, procedurale, de timp	Evaluare
5.1 5.2	5.1. Echilibrul de rotație. Pârghia	O_1 O_2 O_3	Lecția nr. 1 1. Reactualizarea cunoștințelor despre forță și echilibru. 2. Discuție dirijată privind mecanismele simple din viața cotidiană. 3. Definirea noțiunilor: echilibru de rotație, pârghie. 4. Identificarea elementelor pârghiei. 5. Activitate practică cu riglă și suport. 6. Completarea fișei de lucru. 7. Concluzii și tema pentru acasă.	Discuție – 5 min Conversație euristică – 5 min Observarea imaginilor și obiectelor – 5 min Experiment demonstrativ – 15 min Lucru individual pe fișe – 10 min Explicarea temei – 5 min	Observare sistematică Observare directă Verificare a răspunsurilor
5.2 5.3	5.2. Momentul forței. Condiția de echilibru	O_2 O_4	Lecția nr. 2 1. Reactualizarea cunoștințelor despre pârghii. 2. Introducerea noțiunii de moment al forței. 3. Stabilirea condiției de echilibru. 4. Experiment în perechi. 5. Rezolvarea exercițiilor și problemelor.	Discuție – 5 min Explicație – 10 min Demonstrație experimentală – 10 min Lucru în perechi – 10 min Exerciții și problematizare	Observare sistematică Verificare a exercițiilor Evaluarea răspunsurilor orale

			6. Concluzii și aprecierea activității.	– 7 min Tema pentru acasă – 3 min	
5.1 5.7	5.3. Pârghii în natură și tehnică	O ₁ O ₃	Lecția nr. 3 1. Analiza exemplelor de pârghii. 2. Clasificarea pârghiilor. 3. Activitate în grup. 4. Studiu de caz: sistemul locomotor. 5. Prezentarea rezultatelor. 6. Formularea concluziilor.	Conversație – 5 min Observare dirijată – 10 min Lucru în grup – 15 min Prezentare Power Point – 10 min Concluzii și tema – 5 min	Evaluarea comunicărilor Observare sistematică Evaluarea activității în grup
5.3 5.6	5.4. Rezolvarea problemelor la echilibrul de rotație	O ₄	Lecția nr. 4 1. Reactualizarea formulelor. 2. Rezolvarea problemelor simple. 3. Aplicarea condiției de echilibru în situații-problemă. 4. Activitate individuală pe fișe. 5. Verificarea soluțiilor. 6. Concluzii.	Discuție – 5 min Exercițiu – 10 min Problematizare – 10 min Lucru individual – 15 min Verificare frontală – 3 min Tema pentru acasă – 2 min	Verificare a rezolvărilor Observare directă Autoevaluare
5.1 5.2	5.5. Scripetii	O ₂ O ₃ O ₅	Lecția nr. 5 1. Observarea imaginilor cu macarale și mecanisme. 2. Definirea scripetelui fix și mobil. 3. Experiment privind modificarea direcției forței. 4. Compararea forțelor active și rezistente. 5. Completarea tabelului comparativ. 6. Concluzii.	Observare – 5 min Explicație – 10 min Experiment – 15 min Lucru în grup – 10 min Tema pentru acasă – 5 min	Observare sistematică Evaluarea activității practice
5.1 5.2	5.6. Planul înclinat	O ₂ O ₃ O ₅	Lecția nr. 6 1. Discuție despre utilizarea planului înclinat. 2. Experiment: deplasarea unui corp pe plan înclinat. 3. Determinarea avantajului mecanic. 4. Rezolvarea exercițiilor aplicative. 5. Elaborarea concluziilor.	Conversație – 5 min Experiment – 20 min Explicație – 10 min Exercițiu – 7 min Tema pentru acasă – 3 min	Observare directă Evaluarea concluziilor
5.2 5.4 5.6	5.7. Lucrare	O ₅	Lecția nr. 7	Instructaj – 5 min Lucrare	Evaluarea fișei de

	de laborator nr. 5 „Determinarea lucrului forței active și a lucrului forței rezistente”		1. Instrucțaj privind securitatea muncii. 2. Realizarea montajului experimental. 3. Măsurarea forțelor și distanțelor. 4. Completarea tabelului experimental. 5. Calcularea lucrului mecanic. 6. Formularea concluziilor.	practică – 25 min Lucru în perechi – 10 min Concluzii și aprecieri – 5 min	laborator Observare sistematică
5.1–5.8	5.8. Sistematizare și generalizare	O ₂ –O ₅	Lecția nr. 8 1. Sistematizarea noțiunilor studiate. 2. Joc didactic „Recunoaște mecanismul”. 3. Rezolvarea exercițiilor recapitulative. 4. Activitate pe grupe. 5. Autoevaluare și evaluare reciprocă.	Discuție – 5 min Joc didactic – 10 min Lucru în grup – 15 min Exerciții – 10 min Concluzii – 5 min	Observare sistematică Autoevaluare Evaluare reciprocă
5.1–5.8	5.9. Evaluare sumativă „Echilibrul de rotație”	O ₂ –O ₅	Lecția nr. 9 1. Sistematizarea finală a cunoștințelor. 2. Evaluare sumativă. 3. Analiza testului și aprecierea activității elevilor.	Reactualizare – 5 min Test sumativ – 35 min Discuții finale – 5 min	Test de evaluare sumativă

Surse:

Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova. (2020). *Fizică: Curriculum național, clasele 6–9. Curriculum disciplinar. Ghid de implementare* (coord. A. Cutasevici, V. Crudu, V. Păgănu; coord. grup de lucru: V. Bocancea). Lyceum. ISBN 978-9975-3437-5-6. <https://mecc.gov.md/sites/default/files/ghidfizicagimnaziu.pdf>

Guțu, Vl. (coord.), Crudu, V. (coord. gen.), et al. (2020). *Curriculum de bază: Sistem de competențe pentru învățământul general*. Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova; Universitatea de Stat din Moldova; UNICEF Moldova. https://mecc.gov.md/sites/default/files/combinepdf_1.pdf

Anexa 9.b. Test de evaluare sumativă la capitolul „Echilibrul de rotație”

Nume, prenume: _____ Data: _____ Profesor: Zelenschi Irina

Evaluare sumativă, clasa a VII-a, capitolul: „ Echilibrul de rotație”

	Subiectele propuse:	Punctaj
1	Continuă următoarele propoziții astfel ca ele să fie corecte: a) Raportul celor două forțe ce acționează asupra pârgheii în echilibru este egal cu raportul invers al..... b) Scripetele ne dă câștig în forță. c) Dispozitivele care servesc pentru transformarea forței depuse se numesc	1p 1p 1p
2	Încercuiește răspunsul corect din variantele propuse: 1. Brațele unei pârghii se raportează ca 2 : 3 . Valoarea forțelor aplicate la capetele pârgheii se raportează ca: a) 2:3 b) 2 : 2 c) 3 : 2 d) 3 :3 2. Pentru a ridica uniform un corp cu masa de 100 kg cu ajutorul unui scripete mobil, se aplică o forță de , (g = 9,8 N/ kg) a) 980 N b) 890 N c) 940 N d) 490 N 3. Pentru a ridica un corp cu masa de 100 kg cu ajutorul unui scripete fix, se aplică o forță de, (g= 9,8 N/ kg) a) 980 N b) 890 N c)940 N d) 490 N	 2p 2p 2p
3	Determină valoarea de adevăra următoarelor afirmații: a) Scripetele fix se folosește pentru a schimba direcția forței active. A F b) De câte ori se câștigă în forță de atâtea ori se pierde în lucru. A F c) Planul înclinat este folosit pentru a ușura munca omului. A F	 1p 1p 1p
4	Rezolvă problema: Un corp cu masa $m = 150$ kg trebuie ridicat cu o pârghie , având brațele de $b_1 = 2$ m și $b_2 = 1,2$ m. Ce mărime are forța activă (forța depusă de om)? (g= 10 N/ kg)	4p
5	Rezolvă problema: Să se determine înălțimea maximă la care un muncitor ridică o greutate cu masa de 250 kg, folosind un plan înclinat neted cu lungimea de 6,25 m și aplicând o forță activă de 200 N. (g= 10 N/ kg)	4p
Total 20 puncte Acumulat..... Nota.....		

Matricea de specificații:

Clasa Comporta- mentală Conținuturi	Înțelegere Cunoaștere CS-1, CS-2	Aplicare CS-2	Analiză Sinteză Evaluare CS-1— CS- 5	Total
Scripetele	9% - 0,63	7% - 0,49	9% 1 0,63	25%
Pârghia	14,4% 1 1	11,2% 1 0,78	14,4% 1 1	40%
Planul înclinat	12,6% 1 0,88	9,8% - 0,69	12,6% 1 0,88	35%
Total	36%	28%	36%	100% 5 itemi

Barem de notare

(Nota luată în dependență de punctajul acumulat)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2 p	3-4 p	5-6 p	7-9 p	10-13 p	14-16p	17-19p	20-22p	23-25p	26-27p

Barem de corectare:

Nr.	Varianta I	Punctajul	Total
1	a)Energia cinetică b)lucrului mecanic c) se mărește d) F d	Pentru fiecare răspuns corect câte 1p	3p
2	c d a	Pentru fiecare răspuns corect câte 2p	6p
3	a) A b) F c) A	Pentru fiecare răspuns corect câte 1p	3p
4	$F_1 \cdot b_1 = F_2 \cdot b_2$	Pentru formule câte 1p Pentru calcule câte 1p	4p

5	$G/F = l/h$	Pentru formule câte 1p Pentru calcule câte 1p	4p
---	-------------	--	----

Unități de competență supuse evaluării:

- 5.1. Identificarea mecanismelor simple în tehnică și în natură;
- 5.3. Crearea strategiilor și tacticilor de aplicare a mecanismelor simple la rezolvarea problemelor în diferite contexte;

Obiectivele evaluării sumative:

- O1 – Să definească următoarele mărimi fizice: lucrul mecanic, putere mecanică, energie cinetică, energie potențială;
- O2- Să determine valoarea de adevăr a propozițiilor;
- O3 – Să utilizeze noțiunile de lucrul, putere, energie mecanică la rezolvarea problemelor.

Anexa 10.a. Test de evaluare sumativă în clasa a VI-a, capitol “Fenomene magnetice”

Nume, prenume: _____ Data: _____

Citește cu atenție fiecare enunț, acolo unde este necesar utilizează calculatorul de buzunar.

Mult succes !

Nr. ord.	Subiectele propuse:	Punctaj acumulat
1	Continuă propozițiile astfel, încât ele să fie adevărate: a) Trăsnetul se produce între b) Un corp în stare neutră are sarcina electrică egală cu..... c) Sarcinile electrice de același semn se	1p 1p 1p
2	Determină valoarea de adevăr, prin scrierea A, dacă enunțul este corect și F, dacă este fals: a) Polii magnetici pot fi separați. b) Substanțele în care sarcinile electrice se deplasează liber se numesc conductoare . c) Edificiile se protejează de trăsnet cu ajutorul paratrăsnetului.	1p 1p 1p
3	Determină polii magneților analizând situația propusă, se știe că magneții se atrag. 	1p 1p
4	Corpurile A, B, C, D sunt electrizate. Se știe că corpurile A și B se resping, corpurile C și D se atrag, iar A și D se atrag. Cum este electrizat corpul C, dacă corpul A este electrizat pozitiv ?	1p 1p
5	Rezolvați problema: Trei bile identice au sarcinile: $q_1=+5\mu$, $q_2=+6\mu C$, $q_3=-2\mu C$. Care vor fi sarcinile bilelor după ce vor fi puse în contact , apoi îndepărtate?	1p 1p 1p 1p
6	Scrie trei reguli care ar preveni accidentele produse de fenomenele electrice naturale/ curentul electric.	1p 1p 1p

Anexa 10.b. Test de evaluare sumativă în clasa a VIII-a, capitol “Oscilații și unde mecanice”

Nume, prenume: _____ Data: _____

Citește cu atenție fiecare enunț, acolo unde este necesar utilizează calculatorul de buzunar.

Mult succes !

Nr. subiectului	Subiecte propuse	Punctaj acumulat
1	1.Continuă următoarele propoziții astfel încât ele să fie corecte: a)Cu cât este mai mare lungimea pendulului gravitațional, cu atât frecvența oscilațiilor este mai b)Frecvența și perioada sunt mărimi c)Viteza de propagare a sunetului este mai mică în decât în d)Energia totală mecanică a unui sistem oscilator se	1p 1p 1p 1p
2	2.Determină valoarea de adevăr a următoarelor afirmații, încercuind A, dacă afirmația este adevărată, sau F, dacă aceasta este falsă: a)Undele mecanice se propagă doar în mediile elastice. A F c)Urechea omului poate recepționa sunete cu frecvențe mai mici decât 16 Hz și mai mari decât 20000 Hz. A F b)La mărirea perioadei oscilațiilor frecvența acestora se micșorează. A F	1p 1p 1p
3	3.Stabilește prin săgeți corespondența: Lungimea de undă km/h Frecvența dB Tăria sunetului Hz cm	1p 1p 1p
4	4.Rezolvă problema: Pe un timp liniștit s-a aruncat dintr-o barcă pe un lac o ancoră grea. În locul aruncării ancorei s-au format unde. Un om, care stătea pe mal, a observat că unda a ajuns până la el peste 50s. Distanța dintre crestele vecine ale undei este de 0,5m, iar în decurs de 5s au ajuns 20 de valuri la mal. La ce distanță de mal se află barca?	5p
5	5.Rezolvă problema: Un bondar zboară cu viteza de 18 km/h, frecvența bătailor fiind de 20 Hz. Câte bătai din aripi va face bondarul parcurgând o distanță egală cu 100m?	5p

Matricea de specificații:

Conținuturi	Înțelegere Cunoaștere CS-1, CS-2	Aplicare CS-2	Analiză Sinteză Evaluare CS-1 — CS-5	Total
Oscilații mecanice. Pendul gravitațional	9% 1 0,63	7% - 0,49	9% - 0,63	25%
Unde mecanice. (Mișcarea ondulatorie) Mărimi caracteristice.	14,4% 1 1	11,2% - 0,78	14,4% 1 1	40%
Unde sonore	12,6% 1 0,88	9,8% - 0,69	12,6% 1 0,88	35%
Total	36%	28%	36%	100% 5 itemi

Barem de notare

(Nota luată în dependență de punctajul acumulat)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-	0-10%	11-19%	20-30%	31-44%	45-60%	61-75%	76-86%	87-94%	95-100 %

Barem de corectare

Nr.	Varianta I	Punctajul	Total
1	a) mică b) inverse c) micșorează	Pentru fiecare răspuns corect câte 1p	3p
2	a) A b) F c) A	Pentru fiecare răspuns corect câte 1p	3P
3		Pentru fiecare răspuns corect câte 1p	3p
4	100m	Pentru formule - câte 1p Pentru calcule - câte 1p	5p
5	400	Pentru formule - câte 1p Pentru calcule - câte 1p	5p

Unități de competențe supuse evaluării:

- 1.3. Descrierea mărimilor fizice: amplitudine, perioadă, frecvență, lungimea de undă;
- 1.4. Utilizarea mărimilor fizice caracteristice mișcării oscilatorii și ondulatorii la rezolvarea unor problem/ situație - problemă;
- 1.7. Identificarea condițiilor în care se produc și se propagă undele mecanice;

Obiectivele ale evaluării:

- 1. Să definească mărimile fizice caracteristice mișcării oscilatorii și ondulatorii: perioadă, frecvență, amplitudine, lungime de undă;
- 2. Să utilizeze aceste noțiuni în rezolvarea problemelor, situațiilor - problemă;
- 3. Să investigheze valoarea de adevăr a afirmațiilor;

Anexa 10.c Test de Evaluare sumativă în cl. X-a, profil umanist, la tema "Impulsul mecanic. Lucrul și energia mecanică"

Nume, prenume elev _____ Data _____

- I.** Continuați propozițiile astfel ,încât ele să exprime afirmații corecte : L 0 1 2 3 1.
Impulsul mecanic al corpului se mai numește și _____

2. Când unghiul format de vectorul forței și vectorul deplasării este _____, lucrul mecanic este pozitiv.

3. Energia cinetică este o mărime de _____

- II.** Asociați (prin săgeți) mărimile fizice cu unitățile lor de măsură: L 0 1 2 3 4

Puterea mecanică N*s

Energia cinetică J/s

Impulsul forței kJ

Lucrul mecanic MW

- III.** Determinați valoarea de adevăr a următoarelor afirmații: L 0 1 2 3

1. La căderea corpului pe verticală energia sa cinetică nu variază . A F

2. Energia potențială elastică depinde de proprietățile elastice ale corpului. A F

3. Impulsul forței este determinat doar de durata acțiunii ei. A F

- IV.** Prezentați rezolvarea completă a problemelor în SI:

Enunț:	Rezolvare: L 0 1 2 3
1. Un băiat trage un cărucior , aplicând o forță de 300 N . Determinați lucrul forței pe distanța de 100 m , dacă unghiul dintre direcția forței și direcția deplasării este egală cu 30 ° .	Se da:
Enunț:	Rezolvare: L 0 1 2 3 4
2.Un corp cu masa de 500 kg are o energie cinetică egală cu 2250 J . Aflați viteza corpului .	Se da:
Enunț:	Rezolvare: L 0 1 2 3 4
3.Sub acțiunea unei forte de 30 N un resort s-a alungit cu 1 cm . Aflați energia potențială acumulată în resort când acesta este alungit cu 10 cm.	Se da:
Enunț:	Rezolvare: L 0 1 2 3 4
4.Două cărucioare ce se mișcă cu viteze de 4 m/s și 9 m/s au impulsurile egale. Care este masa corpului al doilea dacă masa primului corp este de 4,5 kg?	Se da:

Punctaj total : 25 p

Acumulat _____

Nota _____

Conținuturi	Itemii	Cunoaștere / Înțelegere	Aplicare	Analiză / Evaluare	Total
Impulsul mecanic	Itemii I.1, II, III.3	12%	8%	5%	25%
Lucrul mecanic și puterea mecanică	Itemii I.2, II, IV.1	14%	11%	5%	30%
Energia mecanică (cinetică și potențială)	Itemii I.3, III.1, III.2, IV.2, IV.3	10%	15%	10%	35%
Aplicarea legii conservării și a impulsului	Itemul IV.4	–	5%	5%	10%
Total		36%	39%	25%	100%

Nota	Punctaj acumulat
1	0–2 p
2	3–5 p
3	6–8 p
4	9–11 p
5	12–14 p
6	15–17 p
7	18–20 p
8	21–22 p
9	23–24 p
10	25 p

Nr.	Răspuns corect	Punctaj	Total
I	1. Cantitatea de mișcare; 2. Ascuțit (mai mic de 90°); 3. Mișcare	1 p pentru fiecare răspuns corect	3 p
II	Puterea mecanică J/s și MW; Energia cinetică kJ; Impulsul forței N·s; Lucrul mecanic J	1 p pentru fiecare asociere corectă	4 p
III	1. F; 2. A; 3. F	1 p pentru fiecare răspuns corect	3 p
IV.1	Formula: $L = F \cdot s \cdot \cos \alpha$. Rezultat: $L \approx 25\,980\text{ J}$	Formula – 1 p; calcule – 2 p	3 p
IV.2	Formula: $E_c = (m \cdot v^2)/2$. Rezultat: $v = 3\text{ m/s}$	Formula – 2 p; calcule – 2 p	4 p
IV.3	Formula: $E_p = (k \cdot x^2)/2$. Rezultat: $E_p = 15\text{ J}$	Formula – 2 p; calcule – 2 p	4 p
IV.4	Formula: $p_1 = p_2$; $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$. Rezultat: $m_2 = 2\text{ kg}$	Formula – 2 p; calcule – 2 p	4 p

Unități de competență supuse evaluării

1. Identificarea și descrierea mărimilor fizice: impuls mecanic, impulsul forței, lucrul mecanic, puterea mecanică, energia cinetică și energia potențială.

2. Aplicarea relațiilor matematice specifice impulsului, lucrului mecanic și energiei la rezolvarea problemelor.
3. Analizarea transformărilor energetice și a fenomenelor mecanice în situații concrete.

Obiectivele evaluării sumative

- O1** – Să definească noțiunile de impuls mecanic, impulsul forței, lucru mecanic, putere mecanică și energie mecanică.
- O2** – Să stabilească valoarea de adevăr a unor afirmații referitoare la impuls și energie.
- O3** – Să asocieze corect mărimile fizice cu unitățile lor de măsură.
- O4** – Să utilizeze formulele lucrului mecanic, energiei cinetice și energiei potențiale la rezolvarea problemelor.
- O5** – Să aplice legea conservării impulsului mecanic în situații-problemă.
- O6** – Să prezinte corect și argumentat rezolvarea problemelor în Sistemul Internațional de unități.

Anexa 11. Proiect didactic la lucrarea de laborator „Studiul mișcării rectilinii uniform accelerate a unui corp” în clasa a X-a, profil umanist

Lucrarea de laborator nr. 1

Disciplina:	Fizică
Clasa:	a X-a
Unitatea de învățare:	Capitolul I — Cinematica
Subiectul lecției:	Studiul mișcării rectilinii uniform accelerate a unui corp
Tipul activității:	Lucrare de laborator nr. 1
Durata:	90 minute (2 ore)
Metoda generală:	Tradițională — experimentare practică (hands-on)
Manual:	Fizică, cl. a X-a, Marinciuc & Rusu, Ed. Știința, 2012

I. Competențe specifice urmărite

CS1	Identificarea și descrierea fenomenelor fizice studiate în baza observărilor experimentale.
CS2	Elaborarea și realizarea planului de investigație experimentală a unui fenomen fizic.
CS3	Prelucrarea datelor experimentale prin calcul aritmetic, statistic și grafic.
CS4	Formularea concluziilor și comunicarea rezultatelor experimentale.

II. OBIECTIVE OPERAȚIONALE

La sfârșitul activității, elevul va fi capabil:

- O1 — Cognitive: să descrie mișcarea rectilinie uniform accelerată și să identifice mărimile fizice implicate (s , t , a , v_0).
- O2 — Cognitive: să aplice corect formula $a = 2s/t^2$ pentru a calcula accelerația în cazul $v_0 = 0$.
- O3 — Psihomotor: să monteze corect și în siguranță dispozitivul experimental (uluc, bilă, cilindru, cronometru).
- O4 — Psihomotor: să efectueze minim 5 măsurători independente ale distanței și timpului cu precizie.
- O5 — Cognitive: să calculeze accelerația medie $\bar{a}$, eroarea absolută $\Delta \bar{a}$ și eroarea relativă ε .
- O6 — Afectiv: să colaboreze eficient în echipă de 4 persoane, respectând distribuirea sarcinilor.

- O7 — Comunicare: să prezinte individual rezultatele experimentale în forma standard și să răspundă argumentat la întrebările de analiză.

III. RESURSE

Aparate și materiale (cf. Manual, pag. 171)

- Uluc metalic (plan înclinat cu unghi mic: $h \approx 3\text{--}4\text{ cm}$ la 1 m lungime)
- Stativ cu clemă (pentru fixarea ulucului la înălțimea dorită)
- Bilă metalică (corpul în mișcare uniform accelerată)
- Cilindru metalic (opritor sonor — permite determinarea precisă a momentului final)
- Cronometru electronic (măsurarea intervalului de timp t)
- Ruletă / panglică gradată (în mm sau cm — măsurarea distanței s)

Resurse metodologice

- Manual Fizică cl. a X-a (Marinciuc & Rusu, Ed. Știința, 2012), pp. 27–32, 165–172
- Fișe de lucru de grup (distribuite de profesor)
- Fișe de raport individual (completate și predate de fiecare elev)
- Panou interactiv pentru sinteză colectivă

IV. DESFĂȘURAREA ACTIVITĂȚII

Etapa lecției	Activitatea profesorului / elevilor	Sarcina de învățare	Forma de organizare	Țimp
1. Organizare și pregătire (5 min)	Profesorul verifică prezența, distribuie fișele de lucru. Explică scopul, sarcinile și regulile de siguranță în laborator.	Ascultare activă, întrebări	Frontală	5 min
2. Reactualizarea cunoștințelor teoretice (10 min)	Profesorul recapitulează oral: definiția MRUA, formula $a = 2s/t^2$, graficele $v(t)$ și $s(t)$, eroarea de măsurare. Verificare prin întrebări orale.	Răspunsuri orale, identificarea formulelor	Frontală / Dialogată	10 min
3. Prezentarea montajului experimental (5 min)	Profesorul demonstrează montajul: uluc metalic pe stativ, bila metalică, cilindrul-opritor, cronometrul. Explică pas cu pas procedura de lucru conform manualului.	Observare, notarea instrucțiunilor	Demonstrativă	5 min

ETAPA 1 — LUCRUL ÎN GRUP (35 min)				
4. Realizarea experimentului în grup (35 min)	Grupuri de 4 elevi realizează independent experimentul: Montează ulucul la un unghi mic ($h \approx 3-4$ cm la 1 m). Efectuează 5 măsurători (distanțe diferite $s_1 \dots s_5$). Cronometrează și notează t și s în tabel. Calculează $a = 2s/t^2$ pentru fiecare măsurătoare. Calculează valoarea medie $\bar{a}$ și eroarea $\Delta \bar{a}$. Profesorul circulă, ghidează, corectează erorile de tehnică.	Manipulare aparatură, măsurare, calcul în echipă, completare tabel	Grup (4 elevi)	35 min
ETAPA 2 — RAPORTARE INDIVIDUALĂ (25 min)				
5. Prelucrarea datelor și raportare individuală (20 min)	Fiecare elev: Completează individual fișa de raport. Calculează eroarea relativă $\varepsilon = (\Delta \bar{a}/\bar{a}) \times 100\%$. Prezintă rezultatul final: $a = (\bar{a} \pm \Delta \bar{a}) \text{ m/s}^2$; $\varepsilon = \dots\%$ Răspunde individual în scris la întrebările din manual: 1. De ce unghiul trebuie să fie mic? 2. Rolul cilindrului metalic? 3. Cum variază accelerația în timp? 4. Care este sursa principală de erori?	Calcul individual, scriere, formulare concluzii	Individuală	20 min
6. Evaluare și concluzii (10 min)	Profesorul discută frontal rezultatele obținute de grupe. Compară valorile accelerației obținute. Evidențiază sursele de erori. Formulează concluziile lecției.	Prezentarea rezultatelor, discuție, autoevaluare	Frontală	10 min

Tabelul de înregistrare a datelor

Nr. crt.	t (s)	s (m)	$a = 2s/t^2$ (m/s ²)	Δa (m/s ²)	Observații
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
Valoarea medie		$\bar{a} = \underline{\hspace{2cm}}$	$\bar{a} = \underline{\hspace{2cm}}$	$\Delta \bar{a} = \underline{\hspace{2cm}}$	

Răspunsuri individuale la întrebările din manual (pag. 172)

1. De ce unghiul de înclinare a ulucului trebuie să fie mic?

(Răspuns așteptat: Un unghi mic asigură o accelerație mică, deci un timp de mișcare mai lung, ceea ce reduce eroarea relativă la măsurarea timpului cu cronometrul.)

2. Care este rolul cilindrului metalic așezat la capătul inferior al ulucului?

(Răspuns așteptat: Cilindrul produce un sunet clar la impact, care marchează precis momentul final al mișcării, permițând oprirea cronometrului fără întârziere semnificativă.)

3. Cum se modifică accelerația bilei metalice în funcție de timpul de mișcare?

(Răspuns așteptat: Accelerația rămâne constantă pe tot parcursul mișcării — aceasta este tocmai definiția MRUA. Dacă valorile calculate diferă ușor, diferența se datorează erorilor de măsurare.)

4. Care este sursa principală de erori în experiența efectuată?

(Răspuns așteptat: Sursa principală este eroarea umană la declanșarea/oprirea cronometrului (timp de reacție $\sim 0,1\text{--}0,2$ s). Alte surse: frecare bila-uluc, eroarea de citire a distanței, vibrații ale stativului.)

Concluzii individuale

Fiecare elev formulează în scris cel puțin 3 concluzii:

- Accelerația bilei pe uluc este aproximativ constantă, confirmând că mișcarea este rectilinie uniform accelerată.

- Valoarea accelerației depinde de unghiul de înclinare al ulucului; cu cât unghiul este mai mare, cu atât accelerația este mai mare.
- Eroarea relativă obținută ($\varepsilon = \text{---}\%$) se încadrează în limitele admise pentru un experiment de laborator școlar ($\varepsilon < 10\%$).

V. EVALUARE

Evaluarea activității de grup

- Corectitudinea montajului experimental (0–2 puncte)
- Respectarea procedurii de lucru (0–2 puncte)
- Completarea corectă a tabelului de date (0–3 puncte)
- Colaborarea și organizarea în echipă (0–3 puncte)

Evaluarea raportului individual

- Calculul corect al $\bar{a}$, $\Delta \bar{a}$ și ε (0–3 puncte)
- Prezentarea rezultatului în formă standard (0–2 puncte)
- Răspunsuri corecte și argumentate la cele 4 întrebări (0–4 puncte — câte 1 punct/întrebare)
- Formularea a 3 concluzii corecte (0–3 puncte)

Notă finală: Activitate grup (max. 10 p.) + Raport individual (max. 12 p.). Nota finală = media ponderată.

Anexa 12. Proiect didactic de lecție integrată la tema “Electrizarea corpurilor. Sarcina electrică”

<i>Model integrat:</i>	5E + Flipped Classroom + Early Physics Approach
<i>Disciplina</i>	Fizică
<i>Clasa</i>	a VI-a
<i>Unitatea de conținut</i>	Fenomene electromagnetice
<i>Subiectul lecției</i>	Electrizarea corpurilor. Sarcina electrică
<i>Tipul lecției</i>	Lecție integrată de formare a capacităților de dobândire și aplicare a cunoștințelor
<i>Durata</i>	45 minute
<i>Autor</i>	Irina Zelenschi
<i>Data</i>	28.02.2023

I. Competențe vizate

Unități de competență (conform Curriculum național, Fizică, cl. VI–IX, MEC 2020):

- 2.1 — Observarea și descrierea fenomenelor fizice din mediul înconjurător
- 2.2 — Investigarea experimentală a fenomenelor fizice simple
- 3.1 — Utilizarea limbajului științific în descrierea fenomenelor electrice
- 4.1 — Aplicarea cunoștințelor despre electrizare în situații cotidiene.

II. Obiective operaționale

La finele lecției, elevul va fi capabil:

- O₁ — să definească noțiunea de electrizare și sarcină electrică
- O₂ — să descrie experimental cele trei moduri de electrizare (frecare, contact, influență)
- O₃ — să distingă tipurile de sarcini electrice și interacțiunea dintre ele
- O₄ — să enunțe principiul conservării sarcinii electrice
- O₅ — să explice fenomene de electricitate statică din viața cotidiană

III. Fundamentarea pedagogică a lecției

Modelul 5E structurează secvența didactică în cinci etape: Engage → Explore → Explain → Elaborate → Evaluate, asigurând o progresie logică de la experiența concretă la conceptualizare și transfer.

Clasa Inversată mută transmiterea informației de bază în afara clasei, eliberând timpul lecției pentru investigație, aplicare și reflecție.

Abordarea timpurie a fizicii (Early Physics Approach) plasează fenomenul înaintea definiției, astfel elevul observă, experimentează și formulează întrebări înainte de a primi conceptele formalizate.

IV. Componenta Clasa Inversată (activități realizate cu 1–2 zile înainte)

Elevii au avut sarcina de a realiza acasă:

1. Vizionarea materialului video introductiv pe platforma educatieonline.md. Conținut: electrizarea corpurilor, electricitate statică, experiențe simple realizabile acasă, noțiuni introductive despre sarcina electrică.
2. Lectura din manual Botgros, I. et al. (2020). *Fizică, clasa a VI-a*. Ed. Cartier. § 5.1 „Electrizarea corpurilor”, pag. 59–61.
3. Răspuns la întrebări de control (verificare asincronă)
 - Ce este electrizarea?
 - Prin ce metode se poate electriza un corp?
 - Unde observăm electricitatea statică în viața de zi cu zi?
4. Activitate interactivă online Profesorul a distribuit prin Google Classroom un exercițiu pe Mentimeter — elevii au introdus cuvinte asociate noțiunii „fenomene electrice”, generând un word cloud utilizat în etapa Engage.



V. Resurse didactice

Materiale: baston de sticlă, tub de plastic, electroscop, hârtiuțe, țesătură de lână, fir de mătase, stativ, doză metalică, pieptene, bucăți de hârtie.

Digitale: panou interactiv, platforma Educație Online, Mentimeter, Kahoot!

Manualul: Botgros, I., Bocancea, V., Donici, V. et al. (2020). *Fizică: Manual pentru clasa a VI-a*. Ed. Cartier.

VI. Scenariul lecției integrate

Etapa 1 — evocare și captarea atenției (Engage), 8 min.

Metode: conversație euristică, activare experiențe anterioare

Obiective: O₁, O₅

Activitatea profesorului:

Profesorul inițiază conversația pornind de la situații din viața cotidiană:

- „Ți s-a întâmplat ca părul să fie atras de pieptene după pieptănat?”
- „Ai simțit o înțepătură când ai atins un obiect metalic după ce ai mers pe covor?”
- „Ai observat că hainele sintetice se lipesc de corp când le scoți?”

Proiectează pe tablă word cloud-ul generat în Mentimeter de elevi acasă și invită câțiva elevi să comenteze cuvintele alese.

Adresează întrebarea-problemă a lecției: „Ce au în comun toate aceste situații? Ce forță acționează fără ca obiectele să se atingă?”

Activitatea elevilor:

- Formulează explicații bazate pe experiența proprie
- Identifică situații similare și le asociază noțiunii „fenomene electrice”
- Emit ipoteze despre cauza fenomenelor observate

Etapă 2 — Investigarea experimentală (Explore): 15 min

Metode: experiment, observare, lucru în grup

Obiective: O₂, O₃

Elevii lucrează în grupuri de 3–4. Fiecare grup parcurge cele patru experimente și completează fișa de observații.

Experimentul 1 Electrizarea prin frecare

Materiale: pix, hârtiuțe, țesătură de lână, tub de plastic, doză de aluminiu.

Procedură:

1. Apropiați pixul neelectrizat de hârtiuțe. Notați ce observați.
2. Frecați pixul cu țesătura de lână timp de 10 secunde.
3. Apropiați pixul electrizat de hârtiuțe. Notați ce observați.
4. Apropiați tubul de plastic electrizat de doza metalică. Observați.

Concluzie formulată de elevi: „Corpurile electrizate prin frecare capătă proprietatea de a atrage obiecte ușoare neelectrizate.”

Experimentul 2 Interacțiunea sarcinilor electrice

Materiale: două tuburi de plastic, bastonaș de sticlă, fir de mătase, stativ.

Procedură:

1. Suspendați un tub de plastic electrizat de stativ.
2. Apropiați un al doilea tub electrizat la fel → observați respingerea.
3. Apropiați bastonașul de sticlă electrizat → observați atracția.

Concluzie formulată de elevi: „Corpurile electrizate la fel se resping. Corpurile electrizate diferit se atrag.”

Experimentul 3 Electrizarea prin contact

Materiale: electroscop, tub de plastic electrizat.

Procedură:

1. Atingeți ușor electroscopul cu tubul electrizat.
2. Îndepărtați tubul și observați folia electroscopului.
3. Atingeți electroscopul cu mâna. Ce se întâmplă?

Concluzie formulată de elevi: „Prin contact, sarcina electrică se transferă parțial de la un corp la altul.”

Experimentul 4 Electrizarea prin influență

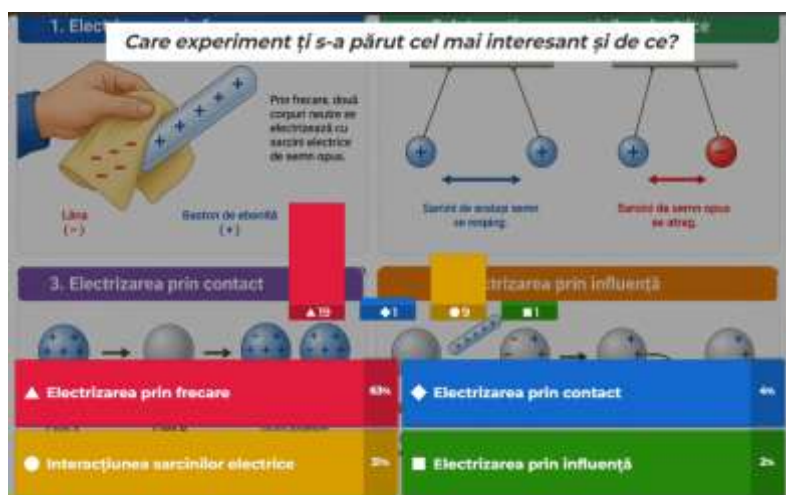
Materiale: electroscop, tub de plastic electrizat (fără contact).

Procedură:

1. Apropiați tubul electrizat de electroscop fără să îl atingeți.
2. Observați deflecția foliei.
3. Îndepărtați tubul. Observați ce se întâmplă cu folia.

Concluzie formulată de elevi: „Prin influență, sarcinile se redistribuie fără transfer direct. Efectul dispare la îndepărtarea corpului electrizat.”

Mini-sondaj rapid (Kahoot! sau Wordwall — 2 min): „Care experiment ți s-a părut cel mai interesant și de ce?” Răspunsurile sunt afișate live pe tablă și comentate de profesor.



Etapa 3 Explicarea conceptelor (Explain), 10 min

Metode: explicație, demonstrație, conversație

Obiective: O₁, O₂, O₃, O₄

Pornind de la concluziile formulate de elevi în etapa Explore, profesorul introduce limbajul științific formal.

Concepte introduse:

“Electrizarea” = procesul prin care un corp neutru dobândește sarcină electrică.

“Sarcina electrică” = mărime fizică ce caracterizează starea de electrizare a unui corp.

- Simbol: q
- Unitate de măsură (SI): *Coulomb* [C]
- Corp neutru: $q = 0$

Tipuri de sarcini:

- Sarcină pozitivă (+) — lipsă de electroni
- Sarcină negativă (–) — surplus de electroni

Regula interacțiunii:

- Sarcini de același semn → se resping
- Sarcini de semne opuse → se atrag

Cele trei moduri de electrizare

Mod	Mecanism	Exemplu
Prin frecare	Transfer de electroni între corpuri diferite	Pix frecat cu lână
Prin contact	Transfer direct de sarcină	Atingerea electroscofului
Prin influență	Redistribuire fără contact	Apropierea tubului de electroscof

Principiul conservării sarcinii electrice: “*Sarcina electrică totală a unui sistem izolat rămâne constantă*”. $q_1 + q_2 = \text{constant}$

Profesorul leagă fiecare concept de observațiile din etapa Explore: „*Ce ați observat în Experimentul 2 confirmă că...* ”.

Etapă 4 Aplicarea cunoștințelor (Elaborate), 7 min

Metode: problematizare, lucru individual și în perechi

Obiective: O₃, O₄, O₅

Situație-problemă:

Patru sfere A, B, C, D interacționează astfel:

- Sferele A și B se resping
- Sferele B și C se atrag
- Sferele C și D se resping
- Sfera A este încărcată pozitiv

Sarcina elevilor:

1. Desenați schema grafică a interacțiunilor.
2. Determinați semnul sarcinii fiecărei sfere.

3. Identificați dacă există vreo sferă neutră. Argumentați.

Soluție așteptată: A(+), B(+), C(-), D(-). Nu există sferă neutră în acest sistem.

Conexiuni interdisciplinare

Disciplina	Elementul integrat
Fizică + TIC	Platforme digitale interactive (Mentimeter, Kahoot)
Fizică + Matematică	Simboluri, semne algebrice, reprezentări grafice
Fizică + Biologie	Electricitate în organism — impulsul nervos
Fizică + Ed. tehnologică	Construirea pendulului electrostatic

Etapă 5 Reflecție și evaluare (Evaluate), 5 min

Metode: autoevaluare, reflecție ghidată

Obiective: toate

Tehnica de reflecție — „Astăzi am descoperit că...”

Fiecare elev completează pe o fișă sau în caiet:

„Astăzi am descoperit că _____.” „Experimentul care m-a surprins cel mai mult a fost _____ pentru că _____.” „O întrebare la care nu am primit răspuns este _____.”

Profesorul colectează fișele sau solicită 2–3 elevi să citească răspunsurile în fața clasei.

Verificare rapidă orală:

- Ce este sarcina electrică?
- Prin câte moduri se poate electriza un corp?
- Ce se întâmplă când două corpuri cu sarcini identice se apropie?

Aprecierea activității: Profesorul oferă feedback general și individual, evidențiind grupele care au formulat cele mai precise concluzii experimentale.

Tema pentru acasă: Observați și notați 3 situații de electricitate statică din viața de zi cu zi. Explicați-le folosind noțiunile învățate.

VII. Tabelul sinoptic al lecției

Etapă 5E	Timp	Activitate dominantă	Metode	Integrare	Evaluare
Engage	8 min	Evocare, captarea atenției	Conversație euristică, word cloud	Early Physics + Flipped	Observare directă
Explore	15 min	Experimente în grup	Experiment, observare	Early Physics	Fișă de observații
Explain	10 min	Introducerea conceptelor	Explicație, demonstrație	5E	Răspunsuri orale

Elaborate	7 min	Situație-problemă	Problematizare	5E + constructivism	Rezolvare scrisă
Evaluate	5 min	Reflecție și autoevaluare	Fișă reflexivă	5E	Autoevaluare

Anexa 13. Test de evaluare sumativă la tema „Fenomene electrice”

Cl. VIII-a _____ N.P. _____ Data _____

1. Stabiliți (prin săgeți) corespondența dintre următoarele mărimi fizice și unitățile de măsură ce le exprimă:

Tensiunea electrica %
Rezistivitatea V
Lucrul curentului electric kWh

Ωm

2. Determină valoarea de adevăr a următoarelor afirmații, marcând A, dacă afirmația este adevărată, sau F, dacă ea este falsă: (0 1 2 3)

a) Rezistența electrică este direct proporțională cu tensiunea aplicată lui. A F

b) La conexiunea în serie a conductoarelor rezistența totală este egală cu suma rezistențelor fiecărui conductor. A F

c) Puterea curentului electric este egală cu produsul dintre tensiunea și intensitatea curentului. A F

3. Continuă următoarele propoziții astfel încât ele să fie adevărate: (0 1 2 3 4)

a) Intensitatea curentului pe o porțiune de circuit este _____ cu tensiunea aplicată acestei porțiuni și _____ cu rezistența ei.

b) Puterea curentului electric este egală cu produsul dintre _____ și _____ curentului.

c) Legea lui Joule este dată de formula _____.

Scrie rezolvarea completă a problemelor propuse :

4. Un rezistor are rezistența electrică $6,4 \Omega$ și este conectat la un generator electric. Dacă intensitatea curentului electric este $0,2 \text{ A}$. Să se calculeze tensiunea la capetele lui. (0 1 2 3 4)	
5. Tensiunea la polii unei surse de curent este de 16 V. Calculați tensiunea și intensitatea curentului în fiecare din consumatoarele legate în serie dacă rezistențele sunt de 6Ω și 2Ω respectiv. (0 1 2 3 4 5)	
6. Intensitatea curentului într-un circuit electric este egală cu $0,2 \text{ A}$. Rezistența exterioară constituie 30Ω, iar t.e.m. este egală cu 8 V. Determinați rezistența internă a sursei. (0 1 2 3 4 5)	

Punctaj acumulat _____

Nota _____

DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnata, ZELENSCHI IRINA, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat *DEZVOLTAREA ȘI APLICAREA CONCEPTELOR CONSTRUCTIVISTE MODERNE ÎN PREDAREA FIZICII* sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

ZELENSCHI IRINA

Data 9 octombrie 2026



CURRICULUM VITAE

INFORMAȚII PERSONALE

Nume/ Prenume	ZELENSCHI IRINA
Adresă	<i>Orașul Chișinău, str. Sucevița 22/2</i>
Telefon	<i>079935330</i>
E-mail	<i>ira.tirigan@gmail.com</i>
Naționalitate	<i>Moldoveancă</i>
Data nașterii	<i>06.08.1993</i>
Sex	<i>Feminin</i>
ORCID	<i>0000-0003-1719-4932</i>

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

2024 – prezent	Cercetător științific, Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău
2016 – prezent	Profesoară de fizică, IPLT „Hyperion”, or. Durlești, mun. Chișinău
2024 – 2025	Profesoară de fizică, Liceul Teoretic „Miguel de Cervantes”, mun. Chișinău
2014 – 2016	Profesoară de informatică, Liceul Teoretic European, mun. Chișinău
2014 – 2015	Pedagog social, Căminul Școlii Profesionale nr. 2, mun. Chișinău
2013	Educator, Tabăra de odihnă pentru copii „Ghiocel”, s. Cârnațeni, r. Căușeni

EDUCAȚIE

2025	Absolventă a programului de recalificare profesională, calificarea <i>Profesor de matematică</i> , Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău
2021 – 2024	Studii superioare de doctorat, Școala Doctorală „Științe ale Educației”, Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău, specialitatea 532.02 – Didactica școlară (fizica). Tema tezei: „Dezvoltarea și aplicarea conceptelor constructiviste moderne în predarea fizicii”.
2020 – 2025	Programe de formare continuă în domeniul didacticii fizicii, metodologiilor STEM/STEAM și competențelor digitale
2016 – 2018	Absolventă a studiilor superioare de master, programul <i>Fizica modernă și tehnologii formative</i> , Facultatea de Fizică și Matematică, Universitatea de Stat din Tiraspol
2012 – 2016	Absolventă a studiilor superioare de licență, specialitatea <i>Fizică și Informatică</i> , Facultatea de Fizică și Matematică, Universitatea de Stat din Tiraspol

PROIECTE

2023	Elaborarea de fișe digitale interactive la fizică (educatieinteractiva.md) în cadrul proiectului „Educație Online” al Direcției Generale Educație, Tineret și Sport a mun. Chișinău, în parteneriat cu PNUD Moldova; activitate apreciată cu certificat
------	---

PUBLICAȚII

Articole în reviste științifice

1. CALALB, M., **ZELENSCHI, I.** The Effects of Constructivist Physics Lessons and Laboratories on Students' Academic Success. In: *Acta Didactica Napocensia*, 2024, nr. 17(2), pp. 99-111. DOI: 10.24193/adn.17.2.8 (revistă indexată în baze de date internaționale)
2. **ZELENSCHI, I.**, CALALB, M. Applying the flipped classroom method in studying rotational equilibrium in 7th grade physics. In: *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe ale Educației)*, 2024, nr. 9(179), pp. 217-223. ISSN 1857-2103. DOI: 10.59295/sum9(176)2024_31
3. CALALB, M., **ZELENSCHI, I.** Constructivismul în predarea fizicii. In: *Acta et Commentationes, Sciences of Education*, 2023, nr. 3(33), pp. 76-85. ISSN 1857-0623, E-ISSN 2587-3636. DOI: 10.36120/2587-3636.v33i3.76-85

Articole în materialele
conferințelor

4. **ZELENSCHI, I.** Evoluția și analiza comparativă a paradigmatelor educaționale. In: *Univers Pedagogic*, 2025, nr. 4(88), pp. 91-98. ISSN 1811-5470. DOI: 10.52387/1811-5470.2025.4.12

5. **ZELENSCHI, I.** Premise constructiviste în noua concepție a disciplinei Fizică și Astronomie. In: *Perspective interdisciplinare asupra cunoașterii*, 8 mai 2026, Chișinău: UPSC, pp. 134-139. ISBN 978-9975-48-419-0. DOI: 10.46727/c.08-05-2026.p134-139

6. CALALB, M., DABIJA, V., **ZELENSCHI, I.** Integrating Black Holes and Gravitational Waves into School Physics. In: *Învățare activă pentru dezvoltare durabilă*, 15 noiembrie 2024, Chișinău: CEP UPS „I. Creangă”, 2024, pp. 34-44. ISBN 978-9975-46-989-0. DOI: 10.46727/c.15-11-2024.p34-44

7. CALALB, M., **ZELENSCHI, I.** Impactul lucrărilor de laborator asupra rezultatelor evaluării sumative la studierea electrocineticii în clasa a VIII-a. In: *Perspective interdisciplinare asupra predării și învățării științelor*, 25 aprilie 2024, Chișinău: CEP UPS „I. Creangă”, 2024, pp. 233-244. ISBN 978-9975-46-933-3. DOI: 10.46727/c.25-04-2024.p233-244

8. CALALB, M., **ZELENSCHI, I.** Modele de medii constructiviste de învățare a fizicii. In: *Science and education: new approaches and perspectives*, ed. 25, 24-25 martie 2023, Chișinău: CEP UPSC, 2023, Seria 25, vol. 3, pp. 346-352. ISBN 978-9975-46-787-2. DOI: 10.46727/c.v3.24-25-03-2023.p346-352

9. CALALB, M., **ZELENSCHI, I.** Metode constructiviste de predare a interacțiunilor în clasa a VII-a. Analiză comparativă. In: *Abordări inter/transdisciplinare în predarea științelor reale (concept STEAM)*, ediția a 2-a, 28-29 octombrie 2022, Chișinău: Tipografia UST, 2022, pp. 388-393. ISBN 978-9975-76-411-7

10. CALALB, M., **ZELENSCHI, I.** Abordări constructiviste la lecția de fizică. In: *Materialele Conferinței Republicane a Cadrelor Didactice: Didactica științelor exacte*, 26-27 februarie 2022, Chișinău: Tipografia Universității de Stat din Tiraspol, 2022, vol. 1, pp. 264-268. ISBN 978-9975-76-382-0

CONFERINȚE ȘI
SEMINARII

11.04.2025

„Evaluation and measurement of students' knowledge on the topic Motion and Rest”, Conferința Științifică Națională cu Participare

Internațională „Perspective interdisciplinare asupra predării și învățării științelor”, UPSC, Chișinău

5 – 7.10.2023

„Aplicarea metodei Clasa Inversată la predarea capitolului Echilibrul de rotație în clasa a VII-a”, Conferința Națională de Cercetare în Educație CERED 2023, Cluj-Napoca, România

2023 – 2025

Comunicări științifice la seminarii și conferințe naționale cu participare internațională de didactica fizicii, organizate de UPSC „Ion Creangă”; prezentări în cadrul Seminarului Metodologic Republican al profesorilor de fizică

COMPETENȚE PERSONALE

Limba maternă

Limba română

Alte limbi străine cunoscute

	ÎNȚELEGERE		VORBIRE		SCRIERE
	Ascultare	Citire	Participare la conversație	Discurs oral	
Limba franceza	A2	B2	A2	A2	B1
Limba rusă	B1	B2	A2	A1	B2

Niveluri: A1/A2 – utilizator elementar; B1/B2 – utilizator independent; C1/C2 – utilizator experimentat

Competențe de comunicare

- comunicare didactică și științifică (prezentări la conferințe, seminarii metodice);
- capacitate de lucru în echipă și de colaborare cu colegii și elevii;
- adaptabilitate la situații noi și deschidere spre inovare didactică.

Competențe digitale

	AUTOEVALUARE				
	Procesarea informației	Comunicare	Creare de conținut	Securitate	Rezolvarea de probleme
	Experimentat	Experimentat	Independent	Independent	Independent

Niveluri: utilizator elementar – utilizator independent – utilizator experimentat.

Instrumente utilizate: platforme educaționale online, fișe digitale interactive, simulări virtuale de fizică, instrumente de prelucrare statistică a datelor.