



UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI
Facultatea de Fizică
Școala Doctorală de Fizică



Fabiola - Sanda CHIRIACESCU (COȘOI)

**INVESTIGAȚIA ȘTIINȚIFICĂ –
STRATEGIE DIDACTICĂ PENTRU
PREDAREA FIZICII ÎN ÎNVĂȚĂMÂNTUL
PREUNIVERSITAR**

Rezumat

Teză de doctorat

Conducător științific

Prof. univ. dr. Valentin BARNA

București, 2023

MULȚUMIRI

Școala Doctorală de Fizică a reprezentat pentru mine o imensă provocare, în urma căreia am învățat extraordinar de mult și am avut parte de experiențe care m-au îmbogățit atât la nivel profesional, cât și personal. Au fost niște ani în care am muncit foarte mult alături de niște persoane deosebite, fără de care nu aș fi reușit și cărora le sunt recunoscătoare.

Mulțumesc domnului Prof. univ. dr. Valentin BARNA, coordonatorul științific al prezentei teze, pentru tot sprijinul acordat în realizarea cercetărilor efectuate și în redactarea tezei, pentru sfaturile pe care mi le-a dat, pentru răbdarea arătată, pentru încurajările care m-au ajutat să trec peste momentele grele, într-un cuvânt, pentru susținerea constructivă și profesionistă pe care mi-a oferit-o pe parcursul acestei experiențe.

Mulțumesc doamnei Conf. univ. dr. Cristina MIRON pentru că mi-a dat curajul de a începe această etapă importantă din viața mea, pentru că m-a susținut în toți acești ani, pentru colaborarea eficientă la cercetările derulate, pentru că m-a ajutat să rezolv toate problemele pe care le-am întâmpinat, pentru toate sfaturile care m-au ajutat să învăț multe lucruri noi.

Mulțumesc colaboratorilor cu care am lucrat la articolele publicate și la lucrările prezentate în conferințe, acestea reprezentând contribuțiile personale ale prezentei teze: Conf. univ. dr. Cătălin BERLIC, Lect. univ. dr. Sanda Voinea, Conf. univ. dr. Iulia Lazăr.

Doresc să mulțumesc tuturor celor care fac parte din comisia de susținere publică: domnului Prof. univ. dr. Ștefan ANTOHE, președinte de comisie, precum și membrilor acestei comisii – domnului Prof. univ. dr. Emil PETRESCU, doamnei Conf. univ. dr. Gabriela IACOBESCU și domnului Prof. univ. dr. Gheorghe TOMȘA - pentru răbdarea și profesionalismul cu care au citit și analizat această teză de doctorat și pentru aprecierile făcute.

Nu în ultimul rând, aș dori să mulțumesc membrilor familiei mele care m-au susținut în această experiență, care mi-au acordat încredere, optimism și ajutor ori de câte ori am avut nevoie. Confortul emoțional și înțelegerea pe care mi le-au acordat, mi-au asigurat echilibrul de care am avut nevoie pentru parcurgerea acestei etape.

Alături de toți cei amintiți, am învățat mai multe despre cercetarea științifică și rigoarea academică. Am avut o colaborare fructuoasă, fără de care nu aș fi reușit și pentru care le sunt profund recunoscătoare.

CUPRINS

INTRODUCERE. DELIMITĂRI CONCEPTUALE ALE NOȚIUNII DE INVESTIGAȚIE ȘTIINȚIFICĂ.....	1
CAPITOLUL I. INFLUENȚA ATITUDINII ȘI COMPETENȚELOR PROFESORILOR ASUPRA ABORDĂRII INVESTIGAȚIEI ȘTIINȚIFICE ÎN ACTIVITATEA DIDACTICĂ.....	5
<i>I.1. Introducere</i>	<i>5</i>
<i>I.2. Variabilele studiate – noțiuni teoretice</i>	<i>6</i>
I.2.1. Variabile independente	6
I.2.2. Variabile de mediere	7
I.2.3. Variabile moderatoare	8
I.2.4. Variabile dependente	8
<i>I.3. Analiza modului în care atitudinea și competențele profesorilor influențează adoptarea investigației științifice, ca strategie didactică</i>	<i>9</i>
I.3.1. Ipotezele de lucru	9
I.3.2. Metoda de lucru	10
I.3.3. Rezultatele obținute	16
I.3.4. Discuții	19
I.3.5. Limitări și sugestii pentru cercetările viitoare	21
<i>I.4. Concluziile capitolului I</i>	<i>21</i>
CAPITOLUL II. INTEGRAREA INSTRUMENTELOR DIDACTICE ALTERNATIVE ÎN STUDIUL DINAMIC AL TORSIUNII.....	23
<i>II.1. Introducere.....</i>	<i>23</i>
<i>II.2. Studiul dinamic al torsiunii – dispozitivul experimental, noțiuni teoretice</i>	<i>23</i>
<i>II.3. Studiul dinamic al torsiunii folosind programul Tracker</i>	<i>25</i>
II.3.1. Programul de analiză video Tracker și utilizarea lui în experimentele de Fizică.....	25
II.3.2. Studiul dinamic al torsiunii folosind programul Tracker	26
<i>II.4. Dispozitivul Arduino folosit ca instrument didactic pentru studiul dinamic al torsiunii</i>	<i>30</i>
II.4.1. Arduino – prezentarea dispozitivului și aplicațiile sale în Fizică... 30	
II.4.2. Determinarea perioadei de oscilație a pendulului de torsiune cu ajutorul dispozitivului Arduino. Rezultate	31
<i>II.5. Concluziile capitolului II.....</i>	<i>34</i>
CAPITOLUL III. INVESTIGAȚIA ȘTIINȚIFICĂ - STRATEGIE DIDACTICĂ ÎN STUDIUL FENOMENELOR ACUSTICE.....	36
<i>III.1. Introducere</i>	<i>36</i>

Investigația științifică – strategie didactică pentru predarea Fizicii în învățământul preuniversitar

drd. Fabiola - Sanda Chiriacescu

<i>III.2. Suport teoretic.....</i>	<i>36</i>
III.2.1. Viteza sunetului în gaze	36
III.2.2. Interferența undelor sonore	37
III.2.3. Tuburi sonore închise	38
<i>III.3. Rezonatori acustici – metodă de determinare a vitezei sunetului în aer</i>	<i>38</i>
III.3.1. Dispozitivul experimental.....	40
III.3.2. Modul de lucru, rezultate și discuții.....	42
<i>III.4. Concluziile capitolului III.....</i>	<i>47</i>
CAPITOLUL IV. HARTA CONCEPTUALĂ – INSTRUMENT DIDACTIC PENTRU STUDIUL MIȘCĂRILOR PERIODICE.....	49
<i>IV.1. Harta conceptuală – instrument didactic în Fizică.....</i>	<i>49</i>
<i>IV.2. Cmap Tools – program specific construirii hărților conceptuale.....</i>	<i>49</i>
<i>IV.3. Hartă conceptuală pentru introducerea noțiunilor specifice mișcării</i> <i>circulare uniforme</i>	<i>50</i>
<i>IV.4. Mișcarea oscilatorie armonică prezentată folosind o hartă conceptuală</i> <i>interactivă</i>	<i>57</i>
<i>IV.5. Harta conceptuală – instrument didactic pentru învățarea prin</i> <i>investigație a elementelor de seismologie</i>	<i>64</i>
IV.5.1. Harta conceptuală a elementelor fundamentale de seismologie ...	64
IV.5.2. Determinarea coordonatelor unui cutremur folosind metoda razelor	69
IV.5.3. Aplicarea metodei razelor pentru determinarea coordonatelor epicentrului unui cutremur folosind GeoGebra	72
IV.5.4. Instrumente vizuale realizate pentru explicarea conceptuală a noțiunilor fundamentale de Seismologie	79
<i>IV.6. Concluziile capitolului IV.....</i>	<i>82</i>
CONCLUZII.....	84
BIBLIOGRAFIE.....	92

Notă: Numerotarea subcapitolelor, figurilor, tabelelor și formulelor din prezentul rezumat este aceeași cu cea din teza de doctorat.

INTRODUCERE

DELIMITĂRI CONCEPTUALE ALE NOȚIUNII DE INVESTIGAȚIE ȘTIINȚIFICĂ

Diferite studii și rezultate ale testărilor de tip PISA sau TIMSS indică o scădere a interesului pentru studiul științelor exacte în general, al Fizicii în mod special în rândul elevilor de liceu. Fizica este considerată o disciplină dificilă, greu de înțeles, abstractă [1 – 4]. O schimbare a modului de abordare a procesului educativ în toate etapele lui, predare – învățare – evaluare, se dovedește necesară.

Odată cu pătrunderea noilor tehnologii, mai ales a internetului, în toate aspectele vieții cotidiene, inclusiv în ceea ce privește educația, trebuie schimbate și abordările. Elevii au la dispoziție o paletă foarte diversificată de materiale suport, au acces la informație și comunică instantaneu. În aceste condiții, rolul profesorului se schimbă din acela de emițător de cunoaștere în cel de facilitator al procesului de învățare. Practic, procesul de predare-învățare trebuie reinventat.

Inovația în educație și în procesul de învățare este dată de orice abordare, metodă, strategie, exercițiu sau mijloace care se dovedește că aduce îmbunătățiri, întăriri sau transformări în mediul de predare-învățare. Inovația constă în implementarea unor practici noi în urma cărora rezultatele învățării să se îmbunătățească [8].

Investigația științifică este o soluție eficientă pentru transformarea lecțiilor de Fizică în activități interactive, centrate pe elev. Ideea schimbării paradigmei și a introducerii investigației științifice ca strategie educațională datează din 1910 când John Dewey a criticat modul tradițional de predare și a accentuat faptul că științele naturii trebuie predate mai mult ca un proces, ca un mod de gândire decât ca o suită de informații care trebuiesc memorate [9]. Adaptând acestea, elevii ar trebui să învețe experimentând Fizică, profesorul transformându-se dintr-un transmițător de informații într-un moderator al procesului de învățare. De-a lungul timpului, s-a demonstrat că aplicarea strategiilor de predare – învățare prin investigație științifică stimulează curiozitatea și interesul elevilor, dezvoltând numeroase abilități. În prezent, investigația științifică este promovată de numeroase organizații în întreaga lume, ca *National Research Council* și *National Science Foundation* în Statele Unite,

Education, Audiovisual and Culture Executive Agency la nivelul Consiliului Uniunii Europene, *National Innovation and Science Agenda* în Australia [7].

Învățarea prin investigație științifică (*IBL – Inquiry Based Learning*) poate fi definită ca un proces instrucțional pe parcursul căruia elevii sunt încurajați să acumuleze cunoștințe și să își dezvolte abilități, implicându-se activ în propriul proces de învățare. Această strategie își are originile în teoria constructivistă a învățării. Elevii identifică o problemă și, urmărind pașii specifici investigației științifice, ajung să găsească soluția acesteia. Profesorul moderează procesul asigurând expertiză și ajutând elevii să își construiască o strategie corectă și coerentă de investigație care să îi ajute să găsească soluția corectă [8, 10]. Învățarea prin investigație dezvoltă atât abilitățile elevilor, cât și pe ale profesorului: elevilor li se cere să își asume responsabilități privind propriul proces de învățare, să pună întrebări, să rezolve probleme, să găsească explicații; profesorul se transformă din specialistul în domeniul respectiv într-un arhitect al învățării și un lider al procesului educativ [6, 8].

Există trei niveluri consacrate de învățare prin investigație: *investigația structurată* este cea în cursul căreia profesorul oferă întrebarea care va provoca investigația, precum și căile de abordare ale acesteia, elevii urmând pașii de lucru pentru a ajunge la rezultat; *investigația ghidată*, în cursul căreia profesorul pune întrebarea care generează investigația, elevii fiind lăsați să construiască strategia de lucru necesară obținerii rezultatelor; *investigația deschisă*, în cursul căreia atât întrebarea, cât și strategiile de lucru provin de la elevi [8, 11].

Au fost identificați trei factori care influențează învățarea prin investigație. Primul este trezirea curiozității elevilor prin prezentarea unui fenomen adaptat nivelului lor de înțelegere, astfel încât aceștia să poată identifica noi elemente și să conecteze noile cunoștințe cu cele anterioare. În al doilea rând, profesorul trebuie să ofere oportunitatea de a lucra în echipă, să permită elevilor să investigheze, să discute și să rezolve problemele împreună cu colegii. Nu în ultimul rând, elevii trebuie încurajați să se implice, să pună întrebări, să își expună ideile și să își verifice ipotezele [12].

Unul dintre modelele consacrate de învățare prin investigație este modelul 5E definit de Roger Bybee [13 - 17] și care ghidează elevii prin cinci faze ale procesului de învățare: provocarea (*Engagement*), explorarea (*Explore*), explicarea (*Explanation*), elaborarea (*Elaboration*) și evaluarea (*Evaluation*) (Fig. 1). Implementarea modelului 5E, ca model educațional de investigație științifică,

permite elevilor urmărirea conținuturilor științifice oferindu-le ocazia să abordeze și să exerseze un mod de gândire științific [16].

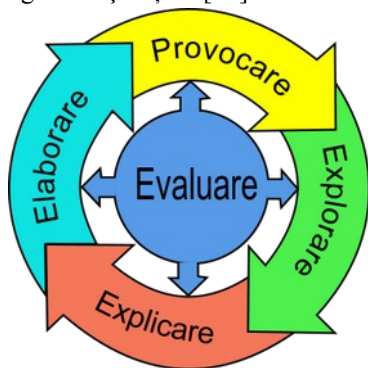


Fig. 1. *Reprezentarea schematică a modelului 5E (preluat și adaptat [13, 16])*

Predarea și învățarea Fizicii prin investigație științifică reprezintă o abordare unde li se oferă elevilor oportunitatea de a investiga o problemă, de a căuta soluții, de a face observații, de a pune întrebări, de a-și formula și testa propriile idei, de a gândi creativ și de a-și folosi intuiția. Procesul de investigație este unul complex și implică activ elevii în propria învățare, ajutându-i să capete cunoștințe noi, fundamentate științific și logice [5, 12]. Investigația științifică ajută elevii să dezvolte *abilitățile secolului XXI* [10]: *abilitățile de învățare și inovare, abilitățile de utilizare a informației, media și a tehnologiei și abilitățile legate de carieră și viața personală.*

Adoptarea unei astfel de atitudini în educație duce la dezvoltarea unor absolvenți competenți în studiul și aplicarea științelor, ceea ce înseamnă mai mult decât înțelegerea noțiunilor științifice, ci și abilitatea acestora de a le folosi.

Odată cu dezvoltarea noilor tehnologii, investigația științifică poate și trebuie să se bazeze pe utilizarea instrumentelor TIC.

Potențialul instrumentelor virtuale și a instrumentelor specifice noilor tehnologii, ca instrumente de învățare, a fost evident și acestea au devenit o necesitate în ultimii ani, când a fost nevoie de implementarea la scară largă a învățământului on-line din cauza pandemiei de Covid 19.

Se poate trage concluzia că, utilizarea investigației științifice îmbunătățește lecțiile de Fizică, crește interesul elevilor către acest domeniu, elevii capătă încredere în capacitatea lor de a rezolva probleme și de a înțelege

Investigația științifică – strategie didactică pentru predarea Fizicii în învățământul preuniversitar

drd. Fabiola - Sanda Chiriacescu

noțiuni abstracte [21, 40, 125, 126], ajută elevii să dezvolte idei științifice corecte [19], dezvoltă abilitatea de documentare, mai ales în spațiul on-line, folosind diverse surse, să selecteze, să verifice, să integreze și să sintetizeze informația [22, 23], să aibă o înțelegere structurată, profundă și funcțională a științelor [17, 18, 20]. Învățarea devine activă, creativă, interactivă și plăcută [23].

În teza de față, am urmărit dezvoltarea a noi instrumente didactice de învățare prin investigație științifică care să permită predarea și învățarea noțiunilor de Fizică într-un mod cât mai eficient. Pentru realizarea instrumentelor prezentate am folosit dispozitive experimentale din laboratorul de Mecanică al Facultății de Fizică, Universitatea București, dispozitive de măsurare construite folosind noile tehnologii, analiza video, animații, simulări și alte materiale originale create folosind programe de calculator gratuite și *open-source*.

CAPITOLUL I

INFLUENȚA ATITUDINII ȘI COMPETENȚELOR PROFESORILOR ASUPRA ABORDĂRII INVESTIGAȚIEI ȘTIINȚIFICE ÎN ACTIVITATEA DIDACTICĂ

1.1. Introducere [24]

Învățarea bazată pe investigație reprezintă o strategie educațională care promovează participarea activă și responsabilizarea elevilor [25], ei fiind puși în situația de a rezolva probleme folosind abilitățile de investigație [26]. Printr-o implicare sporită a elevilor, crește eficiența procesului de învățare, iar climatul educațional este îmbunătățit. De aceea este important să studiem factorii care influențează atitudinea elevilor pentru a putea să îi ajutăm să își atingă aspirațiile.

Interacțiunea dintre atitudinile față de un domeniu (*will*), abilitățile din domeniul respectiv (*skill*) și accesul la tehnologie (*tool*) au fost deseori evaluate cu ajutorul modelului WST (*will, skill, tool*) dezvoltat de Knezek și Christensen [27, 28], model care include concepte care reflectă *atitudinea* din perspectiva celui care utilizează tehnologia. Un model utilizat pentru a explica influența *utilității* percepute și a *satisfacției* asupra adoptării unei strategii didactice integratoare este Modelul Acceptării Tehnologiei (*Technology Acceptance Model – TAM*) [29]. Un alt model care ajută la înțelegerea comportamentului este *Flow Theory (FLT)* [30], a cărui aplicabilitate a fost extinsă pentru mediile de învățare on-line și care demonstrează că succesul unei strategii se învațăre depinde de *atitudinea* profesorului și de abilitățile acestuia de a influența procesul educațional folosind elemente care să genereze *satisfacție*, cum ar fi realizarea unui produs final [31]. Cercetarea pe care o voi prezenta în acest capitol sintetizează și combină modelele WST, TAM și FLT pentru a descrie relația dintre *competențele* și *atitudinea* profesorilor din învățământul preuniversitar mediate de percepția *utilității* și *satisfacție*. Dezvoltarea competențelor secolului XXI în rândul elevilor reprezintă o mare provocare pentru profesori [32].

Cercetarea a fost proiectată astfel încât să exploreze rolul de mediere a *utilității* percepute și a *satisfacției* oferite de strategia instrucțională bazată pe interdisciplinaritate și investigație în funcție de *specializările* profesorilor. Au fost aplicate două chestionare comparative profesorilor care predau științe

specifice profilului real în învățământul preuniversitar: unul referitor la investigația științifică (IBL), altul la folosirea instrumentelor STEM (științe, tehnologii, inginerii, matematică). Un model mediat multigrup cu date validate provenind de la 300 de profesori din învățământul preuniversitar din România care au participat la studiu, ne-a oferit informații referitor la *competențe*, perceperea *utilității*, a *satisfacției* și *atitudinilor* legate de practicile amintite [24]. Studiul și-a propus să evidențieze diferențele și asemănările între abordările bazate pe investigația științifică și integrarea conținuturilor STEM (INT), căutând să clarifice modul în care competențele profesorilor pot influența acceptarea acestora.

Întrebările cheie care au ghidat studiul au fost [24]:

1. *Atitudinea* profesorilor din învățământul preuniversitar care au adoptat metodele de predare bazate pe investigație științifică (IBL) și integrarea conținuturilor STEM este afectată de *competențele* acestora și de *specializare*?

2. Percepția *utilității* și a *satisfacției* mediază relația dintre *competențele* și *atitudinile* profesorilor din învățământul preuniversitar care au adoptat metodele de predare bazate pe investigație științifică (IBL) și integrarea conținuturilor STEM și modul în care sunt controlate de propria *specializare*?

3. Intensitatea relațiilor dintre *competențe* și *atitudini*, mediata de *satisfacție* și *percepția utilității* diferă între strategiile didactice bazate pe investigație științifică și integrarea conținuturilor STEM?

1.2. Variabilele studiate – noțiuni teoretice [24]

În cercetarea realizată am luat în considerare mai multe variabile: independente (*competențele* profesorilor) și de mediere (percepția *utilității* și perceperea *satisfacției*). *Competențele* reprezintă un factor predictiv al *atitudinii*. Perceperea *utilității* și a *satisfacției* mediază parțial asocierea dintre *competențe* și *atitudini* în ceea ce privește abordarea strategiilor didactice bazate pe investigație științifică și integrarea conținuturilor STEM, atunci când sunt controlate de *specializarea* profesorilor. *Specializările* profesorilor au o influență mai slabă asupra profesorilor, dar suficient de importantă pentru a fi luată în considerare.

1.2.1. Variabile independente [24]

Competențele profesorilor

În cercetarea efectuată au fost evaluate *competențele* profesorilor de a identifica subiecte potrivite predării interdisciplinare și integrate. Dimensiunea

măsurată se referă la opiniile profesorilor privind aceste metode de predare raportate la înțelegerea de către elevi a subiectului predat. Am evaluat de asemenea în ce măsură profesorii pot identifica strategii potrivite pentru a integra noile tehnologii în orele de curs pentru a stimula gândirea critică și autocritică în rândul elevilor.

I.2.2. Variabile de mediere [24]

Percepția utilității (perceived usefulness)

Percepția *utilității* poate fi definită ca măsura în care o persoană consideră că utilizarea unui anume sistem sau a unui anume instrument va îmbunătăți performanțele în domeniul său de activitate [35]. O altă definiție consideră că percepția *utilității* reprezintă modul în care o persoană consideră că utilizarea unei tehnici specifice va duce la îmbunătățirea performanței personale în rezolvarea sarcinilor de lucru [36].

În cazul adoptării strategiilor didactice bazate pe investigație științifică, *atitudinea* pozitivă a profesorilor poate fi determinată prin percepția *utilității*, încredere acordată odată cu *competențele* acumulate în acest domeniu. În studiul efectuat, factorul percepția *utilității* a determinat în ce măsură profesorii au încercat să implementeze investigația științifică, ca strategie didactică, în ciuda eforturilor necesare pregătirii unor astfel de lecții. Sunt evaluate de asemenea și opiniile profesorilor referitor la valoarea și necesitatea strategiei în urma adoptării acestei abordări.

Percepția satisfacției (percieved enjoyment)

Perceperea *satisfacției* reprezintă măsura în care o activitate care implică tehnologia este percepută ca fiind agreabilă, separat de orice alte consecințe anticipate [37]. Profesorii care consideră o anumită abordare mai plăcută, vor fi mai înclinați să o folosească în practică decât cei cărora nu le place. Elevii vor simți *plăcerea* profesorului față de o anumită abordare [38].

În studiul de față, a fost măsurat factorul *satisfacție* și ne-a arătat în ce măsură profesorii sunt încântați să utilizeze strategii didactice bazate pe investigație științifică, implementarea noilor tehnologii și a activităților interdisciplinare, dacă activitățile implementare au fost plăcute, amuzante sau le-au considerat plictisitoare, dacă le-au atras atenția, dacă le consideră interesante, dacă le-au adus *satisfacție*.

I.2.3. Variabile moderatoare [24]

Strategia didactică

Abordând *strategia* didactică bazată pe investigație științifică, profesorii urmăresc obiective educaționale metacognitive, afective, epistemice și sociale [43]. Experiența didactică bogată face ca abordarea *strategiei* învățării prin investigație științifică să fie mai eficientă, profesorii mai experimentați fiind mai deschiși față de această nouă abordare [44]. În ceea ce privește transferul de cunoștințe, profesorul influențează permanent *atitudinea* elevilor față de științe, fie direct, prin procesul de predare, fie involuntar, prin *atitudinea* personală pe care o exprimă. *Strategia* didactică bazată pe investigație științifică dezvoltă experiențe de cercetare în rândul elevilor și îi ajută să gândească și să acționeze ca cercetătorii științifici, influențând pozitiv *atitudinea* față de științe și de studiul științific [45].

I.2.4. Variabile dependente [24]

Atitudinea

Atitudinea este un factor important care influențează interesul profesorilor față de un stil de predare. Se poate defini *atitudinea* ca fiind o estimare pozitivă sau negativă a convingerilor, intențiilor sau acțiunilor. Profesorul care manifestă o *atitudine* pozitivă, va induce elevilor o *atitudine* pozitivă față de studiul unei anumite discipline [39]. *Atitudinea* față de un subiect sau comportament poate fi pozitivă, neutră sau negativă [46].

În cercetarea efectuată [24] am investigat relația dintre modelul de mediere și moderare ca răspuns la această problemă. Modelul cuprinde *competențele* ca predictor, *atitudinea* ca variabilă dependentă, *utilitatea* și *satisfacția* ca factori mediatori, modelul de *strategie* ca variabilă moderatoare și *specializarea* ca variabilă de control (Fig. I.1). Factorii cheie conectați modelului de cercetare au fost extrași pe baza evaluării literaturii de specialitate pentru a atinge obiectivele stabilite.

I.3. Analiza modului în care atitudinea și competențele profesorilor influențează adoptarea investigației științifice, ca strategie didactică [24]

I.3.1. Ipotezele de lucru [24]

Atitudinea profesorilor este influențată de anumiți factori. Alegerea *competențelor* ca factor este justificată de necesitatea ca profesorul să aibă abilități și îndemânări specifice pentru a putea să predea eficient o anumită disciplină. *Atitudinea* este influențată de percepția *utilității* și a *satisfacției* ca factori afectivi [47]. Experiența didactică, ca factor intern, precum și factorii interni afectivi influențează foarte mult *atitudinea* [48 - 52].

Studiul derulat pornește de la importanța factorului *atitudine* în adoptarea de către profesori a *strategiei* didactice bazate pe investigația științifică. Pentru cercetare am folosit un model de mediere ponderată (*moderated mediation model*) schematizat în Fig. I.1. Am demonstrat existența conexiunilor dintre cei patru factori latenți ai modelului (*competențe, percepția utilității, atitudine, satisfacție*) care interacționează sub influența factorului moderator reprezentat de *strategia* didactică.



Fig. I.1. Model de mediere ponderată (*moderated mediation model*)
(preluat și prelucrat [24])

Pornind de la studiile prezentate în literatura de specialitate, am stabilit următoarele ipoteze de lucru legate de implementarea strategiilor didactice bazate pe investigația științifică:

Ipoteza 1: Există o legătură pozitivă directă între *competențe* și *utilitate*, *utilitate* și *atitudine*, *competențe* și *satisfacție*, *satisfacție* și *atitudine*, *satisfacție* și *utilitate* în cazul experiențelor didactice bazate pe investigație științifică.

Ipoteza 2: *Utilitatea* și *satisfacția* mediază relația dintre *competențe* și *atitudine* în metodele de predare bazate pe investigația științifică.

Ipoteza 3: Relația dintre *competențe* și *atitudine*, mediată de *satisfacție* și *utilitate* diferă între metodele didactice bazate pe investigație științifică și cele care integrează tehnologii, inginerii, științe, matematică.

I.3.2. Metoda de lucru [24]

Proiectarea cercetării

Studiul derulat a folosit un model decriptiv și transversal cu participanți recrutați în cascadă, întrebările cercetării fiind distribuite folosind un chestionar online. Studiul s-a desfășurat pe parcursul anilor 2020-2021. Am utilizat modelarea parțială a ecuației structurale a celor mai mici pătrate (*partial least squares structural equation modeling PLS-SEM*) ca metodă pentru a dezvolta un model care să ofere informații despre relația dintre variabila independentă (*competențele profesorilor*), variabilele de mediere (*percepția utilității* și *percepția satisfacției*), variabila moderatoare (*experiența privind strategia didactică*) și variabila dependentă (*atitudinea*). Predictorii sunt controlați de *specialitatea profesorilor*, iar relația dintre variabilele independente și cele dependente sunt doar ipotetic cazuale. Pentru aceasta au fost colectate date cantitative prin chestionarul online care a conținut întrebări multiple pentru fiecare variabilă cercetată [33]. Chestionarul a fost construit folosind platforma Google Forms și a fost distribuit pe tot teritoriul României către profesorii care au posibilitatea integrării în procesul de predare a *strategiei* didactice bazate pe investigație științifică. Chestionarul a fost transmis online pentru a înlesni completarea și culegerea datelor pe perioada restricțiilor cauzate de pandemia de Covid-19. *Specializarea profesorilor* a fost inclusă în cercetare ca variabilă combinată. Etapele aplicării modelului *PLS-SEM* au fost urmărite folosind programul *SmartPLS*.

Eșantionul

Grupul țintă al cercetării a fost format din profesorii care folosesc *strategii* didactice bazate pe investigația științifică (IBL) și/sau integrarea tehnologiilor, matematicii, științelor, ingineriilor (STEM). În această categorie intră profesorii care predau Fizică, Chimie, Biologie, Matematică, Geografie,

Tehnologii, TIC/Informatică. Conform datelor Ministerului Educației din România, în anul școlar 2019-2020 erau 29676 profesori care predau disciplinele vizate. Estimarea eșantionului a fost calculată luând în considerare nivelul de încredere (*confidence level*) = 95%, cu o dimensiune a efectului anticipată (*anticipated effect size*) = 0.01 și o putere a efectului (*power of effect*) = 0.8 [53] rezultând o dimensiune minimă a eșantionului de 288 de participanți. La studiu au participat 305 de profesori, dintre care doar 5 răspunsuri nu au fost validate, deci limita minimă a fost depășită.

Participanții la studiu

Au participat la studiu 305 profesori din învățământul gimnazial și liceal din România. Au fost colectate răspunsurile individuale a 305 de respondenți și examinate respectând cerințele de cantitate și calitate specifice unui studiu științific [54]. Cinci răspunsuri nu au îndeplinit criteriile minime de calitate [55] și au fost eliminate, rămânând 300 de chestionare valide.

La începutul chestionarului, am pus la dispoziția participanților la studiu un film informativ care explică *strategiile* didactice la care s-a făcut referire, cu exemple de activități specifice pentru mai multe discipline de studiu. Filmul a fost vizionat de marea majoritate, mai exact de 286 dintre profesori, ceea ce reprezintă 95% din numărul respondenților.

Colectarea datelor

Încă de la începutul implementării acestui studiu am întâmpinat o dificultate metodologică importantă. Pandemia de Covid-19 a impus anumite limitări [56] și a schimbat complet modul de funcționare a sistemului educațional [57] obligând toate instituțiile de învățământ, profesorii și elevii să se adapteze foarte repede la varianta de educație online [58]. În aceste condiții, aplicarea directă a chestionarului a devenit imposibilă, singura variantă viabilă fiind distribuirea acestuia online.

Alegerea eșantionului în cascadă reprezintă o metodă neprobabilistică aplicată în investigațiile efectuate atunci când nu există acces la liste cu posibilele persoane care pot participa la studiu [59 – 62]. Alegerea eșantionului în cascadă în mediul virtual [55] reprezintă o metodă de recrutare care implică utilizatorii de rețele sociale [54], folosește relațiile interpersonale și conexiunile dintre persoane pentru a contacta grupul țintă vizat [63]. Selecționarea online a eșantionului poate îmbunătăți diversitatea geografică și viteza de recrutare [64] și să elimine posibilitatea absenței datelor din zonele izolate geografic [65, 66]. Înainte de aplicarea chestionarului online, am studiat toate chestiunile etice de care a trebuit

să ținem seama, legate de consimțământ, confidențialitate, intimitate [67]. Colectarea datelor a început doar după ce am obținut aprobările Comisiei de Etică a Universității din București, ca și în cazul altor studii din domeniu [68 – 70].

Am ales chestionarul online și eșantionul în cascadă în mediul virtual ca fiind instrumentele potrivite [55] pentru verificarea ipotezelor de lucru. Participanții au participat de bună voie și au completat chestionarul, trimițând răspunsurile online. În acest fel, ei au putut să se concentreze mai bine asupra întrebărilor și să formuleze răspunsuri detaliate [55, 71]. Un grad înalt de anonimizare a răspunsurilor a fost asigurat prin autoadministrarea chestionarului [72]. Pentru a contacta profesorii din grupul țintă au fost folosite email-ul și Facebook-ul. Pentru a putea ajunge la cât mai mulți profesori, autorii au transmis un mesaj inspectorilor de specialitate din țară în care au inclus prezentarea cercetării și link-ul chestionarului (<https://forms.gle/cSesCawKZm2vutR16>). Inspectorii școlari ai disciplinelor vizate au contribuit distribuind în rândul profesorilor din teritoriu chestionarul prin intermediul grupurilor de Facebook sau pe email. În felul acesta am avut posibilitatea de a colecta răspunsuri de la un număr mare de profesori cu o distribuție geografică mare și diversificată.

Culegerea datelor a durat 66 de zile, în intervalul 14 noiembrie 2020 – 18 ianuarie 2021.

La începutul chestionarului am prezentat contextul și scopul cercetării. Am specificat faptul că vor fi respectate toate regulile în vigoare în ceea ce privește colectarea răspunsurilor: nu se vor colecta date personale exceptând categoriile în care respondenții se încadrează ca specializare, vechime, grad didactic, vârstă, iar răspunsurile vor fi folosite doar în scopul studiului respectiv, ca date statistice. Am oferit participanților un film de 29 de minute în care sunt explicate *strategiile* didactice vizate și exemple de implementare a acestora pentru diferite discipline dintre cele vizate. Chestionarul a fost standardizat, cuprinzând întrebări cu variante de răspuns predefinite și ținute. Am inclus și întrebări cu răspuns deschis, pentru a permite profesorilor să concluzioneze avantajele *strategiilor* didactice bazate pe investigația științifică. Chestionarul, cuprinzând filmul de prezentare, a fost distribuit profesorilor prin mijloacele amintite.

Elaborarea chestionarului

Scopul principal al cercetării a fost cel de a examina nivelul de cunoștințe al profesorilor în ceea ce privește *strategia* didactică bazată pe investigație științifică și *atitudinea* lor față de aplicarea acesteia în activitatea

didactică curentă. Chestionarul a fost construit folosind formatul scalei Likert în șapte puncte, bazat pe studiul cadrului de referință și pe ipotezele de studiu astfel încât să aibă o precizie cât mai mare cu putință. Chestionarul a fost structurat în trei secțiuni. Prima secțiune colectează informații specifice despre participanții la studiu, informații care să permită distribuția răspunsurilor după *specializare*, vechime, vârstă, grade didactice, tipul localității unde predau (urban/rural), formarea profesională și gen. A doua secțiune cuprinde întrebări specifice legate de factorii latenți ai modelului de cercetare – *competențe*, percepția *utilității*, percepția *satisfacției* și *atitudinea*. Experți în Științe Naturale și Științele Educației au colaborat pentru a proiecta acest chestionar, iar aplicarea acestuia a fost aprobată de Comisia de Etică a Universității din București și a respectat toate regulile de etică și de protecție a datelor personale ale respondenților. Nu s-au colectat date personale, iar răspunsurile primite au fost folosite numai în scopul prezentei cercetări.

Măsurătorile efectuate

Competențele

Competențele privind cunoștințele și pregătirea pedagogică în ceea ce privește *strategia* didactică bazată pe investigația științifică (IBL) au fost investigate prin întrebări adaptate după scala propusă de Chuang, Weng și Huang [73]. Întrebările măsoară două dimensiuni: *conținut* (de exemplu: *Prin IBL se pot adapta conținuturile pe înțelesul elevilor.*) și de personalitate (de exemplu: *Pot utiliza IBL astfel încât elevului să i se dezvolte creativitatea.*). Afirmatiile trebuie apreciate de profesorul care răspunde pe o scară Likert în 7 puncte de la 1 (Total neadevărat) până la 7 (Total adevărat). A fost calculat coeficientul alpha Cronbach pentru scala *competențelor*.

Utilitatea

Itemii referitori la *utilitate* i-am creat alături de coautorii cercetării. Pentru acest factor am creat itemi constând în cinci afirmații pe care profesorul respondent le-a apreciat pe o scară Likert în 7 puncte de la 1 (Total neadevărat) până la 7 (Total adevărat). Aceștia măsoară două dimensiuni: *importanța* (de exemplu: *Cred că aplicarea IBL este o activitate importantă pentru eficiența învățării.*) și *valoarea* (de exemplu: *IBL ar putea fi o strategie valoroasă pentru mine.*). A fost calculat coeficientul alpha Cronbach pentru scala *utilității*.

Satisfacția

Pentru a măsura *satisfacția* utilizării strategiei didactice bazată pe investigație științifică, împreună cu coautorii studiului am creat patru itemi sub

forma unor afirmații care pot fi apreciate pe o scară Likert în 7 puncte de la 1 (Total neadevărat) până la 7 (Total adevărat). Itemii măsoară o singură dimensiune, *satisfacția* (de exemplu: *Cred că această activitate a fost o experiență plăcută.*). Și pentru factorul *satisfacție* a fost calculat coeficientul alpha Cronbach.

Atitudinea

Pentru a măsura *atitudinea* profesorilor față de utilizarea investigației științifice în activitatea didactică, am folosit cinci itemi [74] de același tip, afirmații care pot fi apreciate pe o scară Likert în 7 puncte de la 1 (Total neadevărat) până la 7 (Total adevărat). Aceștia măsoară dimensiunea privind *atitudinea* cognitivă (de exemplu: *IBL are un caracter diversificat care permite soluții variate.* sau *IBL conduce la stimularea autonomiei elevilor.*). A fost calculat coeficientul alpha Cronbach pentru scala atitudinii.

Analiza datelor

Normalitatea datelor

Fiabilitatea și viabilitatea chestionarului au fost verificate prin diferite metode. Experți educaționali au contribuit la crearea itemilor și a fost derulat un test de probă printre profesorii Universității din București pentru a asigura validitatea. Au fost analizați itemii pentru a asigura relevanța acestora. Toate valorile de corelare totală a itemilor (*item-total correlations*) au fost mai mari decât valorile limită admisibile (*the cut-off criterion*) de .20 [75].

Explorarea factorilor de analiză (*exploratory factor analysis EFA*) a fost aplicată eșantionului de 300 de profesori care au răspuns la chestionar pentru a furniza validitatea construcției chestionarului [73, 76]. Explorarea factorilor de analiză (EFA) [34] s-a bazat pe 26 de variabile folosind analiza paralelă pentru a determina numărul de factori care rămân cu metoda de maximă probabilitate și rotația Oblim (*the maximum likelihood method and Oblim rotation*). Explorarea factorilor de analiză s-a derulat pentru a examina relația dintre itemii chestionarului și conceptele teoretice propuse. Aceasta a determinat validitatea factorială, care este parte din validitatea construcției chestionarului [77]. Încărcătura factorilor a fost interpretată considerând valoarea absolută a fiecărei încărcături și implementând criteriul sugerat de Comrey și Lee [78]. Sunt considerate excelente valorile mai mari de 0.71, ca și cele între 0.63-0.71, bune valorile între 0.55-0.63, rezonabile valorile între 0.45-0.55 și slabe valorile cuprinse în intervalul 0.32-0.45. Valoarea 0.32 este recomandată a fi considerată ca minimă pentru a identifica un factor de încărcare semnificativ [79]. Au fost

analizate testele Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) care consideră adecvate valori mai mari de .60, precum și testele Bartlett care consideră valori adecvate peste 0.05 pentru a verifica dacă setul de date este potrivit pentru factorul de analiză. Rezultatele acestor teste au fost conform cu condițiile: pentru KMO (N=300 răspunsuri)=.95 și pentru testele Bartlett = 0.05, ceea ce a permis începerea explorării factorilor de analiză EFA. EFA a susținut structura predefinită a celor patru concepte – *competențe, satisfacție, utilitate și atitudine*. Toate rotațiile factorilor de încărcare asociați dimensiunilor considerate au fost mai mari de .40.

Eșantionul pentru analiza factorilor exploratori a fost 300 și numărul inițial de variabile incuse a fost 26. Dimensiunea eșantionului a fost adecvată pentru a asigura rezultate pertinente [80]. Factorul 1 (*atitudine*): 18.3% varianță cu o valoare proprie 8.37; factorul 2 (*competențe*): 18.2% varianță; factorul 3 (*satisfacție*): 14% varianță; factorul 4 (*utilitate*): 18.10% varianță. Toți cei patru factori au contabilizat 68.70% total varianță în pachetul de date. Nu există variabile cu comunitate joasă (<0.20) sau încărcături transversale (*cross-loadings*), același item nu se grupează la doi sau mai mulți factori, ceea ce înseamnă că structura factorilor nu este complicată și este ușor de explicat. În plus, fiecare factor are cel puțin trei încărcături semnificative (>0.40), ceea ce îi face solizi și consistenți [80]. Unsprezece itemi au fost excluși în urma analizei EFA (limita de tăiere >0.40) [76], iar analizele următoare au fost efectuate folosind cei 15 itemi rămași.

A fost rulată modelarea parțială a ecuației structurale a celor mai mici pătrate (*partial least squares structural equation modeling PLS-SEM*) [81, 82] folosind programul SmartPLS pentru a verifica dacă variabilele latente (*atitudine, utilitate, competențe și satisfacție*) descriu datele în mod adecvat. Au fost folosiți indici de fitare conform modelului *Normed Fit Index* (NFI) și rădăcina pătrată medie reziduală standardizată (*standardized root mean square residual SRMR*) [83, 84].

Testele de invarianță au fost rulate pentru a verifica dacă măsurătorile modelului sunt conform cu criteriile de invarianță metrică. Rezultatele măsurătorilor de invarianță ale copoziției factoriale (*Measurement invariance composite - MICOM*) bazate pe trei pași (invarianța configurației, invarianța compozițională și egalitatea compoziției principalelor valori și variabile) [85] arată că a fost stabilită în întregime invarianța măsurătorilor. A fost efectuată explorarea factorilor de analiză EFA, analiza factorilor confirmatori (*Confirmatory Factor Analyses CFA*) și modelarea parțială a ecuației structurale a

celor mai mici pătrate (*partial least squares structural equation modeling PLS-SEM*) folosind statisticile Jamovi [86] și programul SmartPLS.

I.3.3. Rezultatele obținute [24]

Construcția studiului nu a manifestat o distribuție normală, asimetria variind în unele situații de la -2 la +2, iar valorile mediei indicelui de aplatizare (*kurtosis*) variază de la -3 la +3. Algoritmii PLS-SEM sunt folosiți de obicei în cazul acestui tip de date nonformale [87]. Prin urmare, chiar dacă răspunsurile la unii dintre itemi nu au reprezentat o distribuție normală, următoarele analize au fost derulate folosind PLS-SEM.

Statistici descriptive

Au fost calculate statistici sumative pentru scalele competențe, utilitate, satisfacție și atitudine.

Fiabilitate și validitate

Rezultatele factorului de încărcare (*standardised regression weight*) indică faptul că, pentru toți itemii analizați, magnitudinea este peste limita de 0.71, considerată ca fiind acceptabilă.

Datele sunt considerate consistente deoarece valorile coeficientului alpha al lui Cronbach, rho_A și validitatea compusului (*composite reliability CR*) au valori acceptabile, peste limita de 0.7 [88]. De asemenea, variația medie extrasă (*Average Variance Extracted AVE*) pentru dimensiunile cercetării nu a fost mai mare decât limita de 0.5, deci a fost îndeplinită validitatea convergentă a constructului (*the convergent validity of constructs*) [89]. Confirmarea validității discriminantului analizei este validat deoarece valorile rației de corelare Heterotrait-Monotrait (*Heterotrait-Monotrait Rati of Correlation HTMT*) au fost mai mici sau egale cu valoarea limită 0.90 [90].

Modelul structural

Am investigat modelul structural ale cărui consecințe sunt postulate în modelul PLS-SEM [91]. Rezultatele obținute arată că variabilele demografice implicate (de exemplu vârstă, gen, vechime, rezidență, grade didactice, formare profesională, specializare) nu au un impact semnificativ asupra *atitudinii*. Referitor la calitatea modelului, rezultatele studiului arată valori pentru R^2 de 0.59 pentru *atitudine*, 0.45 pentru *satisfacție* și 0.42 pentru *utilitate*, valori mai mari decât pragul minim acceptat de 0.10 [92]. Folosind analiza Stone-Geisser am demonstrat relevanța valorilor Q^2 care sunt mai mari de 0 [93], astfel: pentru *atitudine* $Q^2 = 0.53$, pentru *satisfacție* $Q^2 = 0.44$, pentru *utilitate* $Q^2 = 0.41$, valori

prevăzute de modelul de cercetare. În plus, rădăcina pătrată medie reziduală standardizată (*standardized root mean square residual SRMR*) are valoarea 0.07, mai mică decât limita maximă de 0.08 [92, 93]. Legăturile dintre factori considerate în modelul de cercetare sunt semnificative, după cum se poate vedea în Fig. I.2. Coeficienții standardizați prezentați în Fig. I.2. evidențiază faptul că *atitudinea* profesorilor față de strategiile didactice bazate pe investigație științifică (IBL) sunt influențate de *utilitatea* percepută ($\beta = 0.14$), *competențe* ($\beta = 0.49$) și *satisfacție* ($\beta = 0.22$).

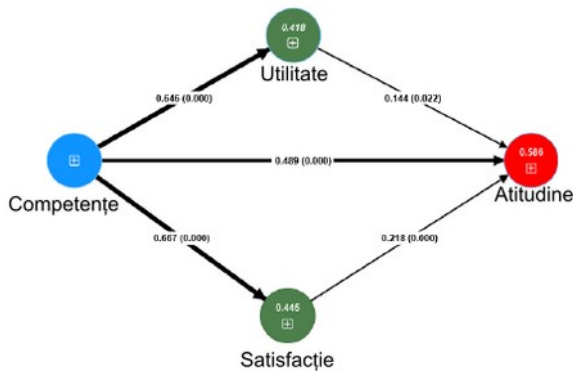


Fig. I.2. Modelul ecuației structurale [24]

Rezultatele regresiei directe. Corespondența cu prima ipoteză

Regresia directă a fost examinată pe baza unui coeficient alpha de 0.05. Sunt prezentate în Tabelul I.8 rezultatele succinte ale analizei evaluării dimensiunii efectelor variabilelor latente exogene asupra variabilelor endogene în relația lor directă. Se pot observa următoarele legături care demonstrează validitatea ipotezei 1:

- *competențele* influențează semnificativ *atitudinea* (la o creștere a factorului *competențe* cu o unitate, valoarea factorului *atitudine* crește cu 0.49);
- *competențele* influențează semnificativ *satisfacția* percepută (la o creștere a factorului *competențe* cu o unitate, valoarea factorului *satisfacție* crește cu 0.67);
- *competențele* influențează semnificativ percepția *utilității* (la o creștere a factorului *competențe* cu o unitate, valoarea factorului *utilitate* crește cu 0.65);
- *satisfacția* percepută influențează semnificativ *atitudinea* (la o creștere a factorului *satisfacție* cu o unitate, valoarea factorului *atitudine* crește cu 0.22)

Investigația științifică – strategie didactică pentru predarea Fizicii în învățământul preuniversitar

drd. Fabiola - Sanda Chiriacescu

- *utilitatea percepută influențează semnificativ atitudinea (la o creștere a factorului utilitate cu o unitate, valoarea factorului atitudine crește cu 0.14)*

Medierea rezultatelor modelului. Corespondența cu a doua ipoteză

Testul de mediere a fost rulat pentru a determina dacă *utilitatea* și *satisfacția* mediază relația dintre *competențe* și *atitudine*. Rezultatele succinte al medierii bazate pe valoarea alpha de 0.05 sunt prezentate în Tabelul I.8 Efectul direct dintre *competențe* și *atitudine* este semnificativ, indicând că nu apărut o mediere completă prin *utilitate* sau *satisfacție*, deși a fost totuși prezentă o mediere parțială.

Tabelul I.8. *Efecte specifice directe și evaluarea dimensiunii efectelor variabilelor latente exogene asupra variabilelor endogene în relația lor directă [24]*

	Ipozeza	Coefficient de legătură	Deviație standard (STDEV)	Efect?	Rezultatul ipotezei
Competențe -> Atitudine	H11	0.49	0.07	mediu	verificată
Competențe -> Satisfacție	H12	0.67	0.05	puternic	verificată
Competențe -> Utilitate	H13	0.65	0.05	puternic	verificată
Satisfacție -> Atitudine	H14	0.22	0.07	slab	verificată
Utilitate -> Atitudine	H15	0.14	0.07	slab	verificată

Tabelul I.9. *Efecte indirecte specifice [24]*

	Ipozeza	Coefficientul efectului indirect	Deviație standard (STDEV)	Rezultatele ipotezei
Competențe -> Satisfacție -> Atitudine	H21	0.15	0.04	Mediere parțială
Competențe -> Utilitate -> Atitudine	H22	0.09	0.05	Mediere parțială

Medierea parțială a fost examinată folosind efectele indirecte și cele totale ale utilității și satisfacției asupra relației dintre competențe și atitudine. Un

efect indirect al utilității asupra relației atitudinii influențată de competențe a fost semnificativ pentru strategia didactică bazată pe investigația științifică. A fost rulată o mediere parțială deoarece efectele indirect și total au fost semnificative. Efectele indirecte ale satisfacției în relație cu atitudinea, cu regresie în competențe au fost scăzute, dar semnificative (Tabelul I.9). Prin urmare ipoteza a doua a fost susținută.

Rezultatele modelului multigrup. Corespondența cu a treia ipoteză.

Prin acest studiu, am analizat factorii amintiți atât în ce privește *strategia didactică bazată pe investigație științifică (IBL)*, cât și integrarea STEM (științe, tehnologii, inginerii, matematică) în activitatea didactică. A treia ipoteză de lucru se referă la compararea factorilor între cele două modele didactice. Rezultatele testului comparativ multigrup (*MGA*) arată că nu există diferențe semnificative pentru relațiile studiate, ca atare, a treia ipoteză de lucru nu a fost confirmată.

I.3.4. Discuții [24]

Relația directă între experiența și atitudinea profesorului

Atitudinea, influențată de *competențele* profesorilor, are un rol decisiv în adoptarea unei *strategii* didactice [94, 95]. Aceste rezultate pot fi explicate prin definirea *strategiei* didactice. Investigația științifică este o *strategie* didactică care implică o interacțiune directă cu elevii pe parcursul actului didactic. Rezultatele pot fi justificate de rolul motivației intrinsece a observațiilor curente în percepția *utilității* și a *satisfacției* implementării investigației științifice ca *strategie* didactică.

Relația indirectă între competențe și atitudinea profesorului

Experții în educație au studiat relația dintre *atitudinea* și *competențele* profesorilor. În particular, s-a demonstrat că relația dintre *atitudine* și *competențe*, mediată de diferite aspecte corelate cu tehnologia, mărește probabilitatea ca profesorii să adopte schimbările, modernizarea [96]. Prin această cercetare [24] am studiat aspectele importante ale medierii influenței simultane date de *satisfacție* și *utilitate* asupra adoptării noilor *strategii* de predare care au aspecte comune în ceea ce privește adoptarea noilor tehnologii.

Compararea grupurilor multiple ale modelului de cercetare

Dintre avantajele aduse de *strategia didactică bazată pe investigație științifică* observate de respondenți menționez: creșterea eficienței activității de învățare, dezvoltarea gândirii critice, caracterul inovativ, predarea diferențiată, eficiența transferului de cunoștințe către elevi.

Ca dezavantaje, am identificat următoarele aspecte: majoritatea profesorilor care au răspuns la chestionar predau o singură disciplină, ceea ce determină abordări unidirecționale; dotările din unitățile de învățământ preuniversitare nu sunt suficiente; matematica este percepută ca o știință abstractă, separată de celelalte științe ale naturii; investigația științifică este dificil de implementat în activitatea didactică dacă nu este evidentă percepția satisfacției și a utilității [97].

Prin urmare, adoptarea și implementarea investigației științifice ca *strategie* didactică într-o manieră integratoare și transdisciplinară este o experiență complexă care presupune o abordare individuală specifică fiecărei discipline de studiu [98]. Factorii cognitivi și afectivi ca *utilitatea* și *satisfația* sunt necesari pentru a susține o *atitudine* pozitivă a profesorilor față de acceptarea și implementarea strategiilor instrucționale în practică.

Contribuții în cercetare

Studiul pe care l-am realizat [24] a constatat într-un model mediat multigrup care a investigat relațiile dintre *competențe* și *atitudine*, mediate de *utilitate* și *satisfație* în rândul profesorilor din învățământul preuniversitar, ținând cont de *specializarea* acestora. Pentru aceasta, am construit sau adaptat din literatura de specialitate o scală cu 26 de itemi pentru variabilele *competențe*, *utilitate*, *satisfație* și *atitudine*. Pentru eșantionul folosit, scala a dovedit dimensionalitate și nivel de validitate și fiabilitate acceptabile. Studiul a folosit combinat modelele WST (*will, skill, tool*), TAM (*technology acceptance model*) și FLT (*flow theory*), considerând percepția *utilității* și a *satisfăcției* ca mediatori în relația dintre *aptitudini* și *atitudini*.

Acest proiect de model descriptiv are unele beneficii importante față de unele studii similare anterioare. Noutatea adusă de studiul nostru [24] a fost testarea rolului de mediere al *satisfăcției* și *utilității* între *abilități* și *dorință*. Alte studii accentuează rolul jucat de *strategia* de predare în procesul de învățare și cunoștințele acumulate [99 - 101]. Toate aceste cercetări anterioare au justificat nevoia de a extinde modelul WST (*will – skill - tool*) pentru a studia interacțiunea dintre dorință, abilități și instrumente pentru o perspectivă nouă, cea afectivă.

I.3.5. Limitări și sugestii pentru cercetările viitoare [24]

Studiul derulat are unele limitări comune tuturor cercetărilor bazate pe un chestionar – exprimarea credințelor și atitudinilor respondenților poate crea anumite tendințe [102, 103]. Cele patru scale folosite au măsurat o

conceptualizare specifică. Unii cercetători au sugerat o abordare multidimensională într-un astfel de context [100]. Sunt necesare noi dimensiuni pentru *abilități, dorințe și instrumente* deoarece numai practica poate oferi răspunsuri complete pentru ipotezele pe care ni le-am propus pentru investigare. Această abordare oferă o mai bună informare în ceea ce privește stilul de *strategie* didactică, motivație și eficiență. În acest studiu, am luat în considerare în principal competențele profesorilor în domeniul științelor naturii. Profesorii de Fizică sunt mai interesați în a folosi metodele investigative, cu atât mai mult cu cât noua curricula din ciclul secundar inferior încurajează această abordare. Studiile care cercetează relația dintre disciplina pe care o predă și abilitatea profesorului de a implementa investigația științifică sunt relativ noi, cu puține cercetări experimentale, în special în domeniile matematică și științe [104]. În studiul derulat [24] am folosit ca variabilă de control *specializarea* profesorilor, deoarece este importantă menținerea constantă a tuturor variabilelor.

1.4. Concluziile capitolului I [24]

În capitolul de față, bazat pe cercetarea efectuată în rândul profesorilor din învățământul preuniversitar [24], am examinat legătura dintre *competențele* profesorilor și *atitudinile* acestora sub influența percepției *utilității* și a *satisfacției*, controlată de *specializare* pentru dimensiunile cheie ale implementării *strategiilor* didactice bazate pe investigație științifică și integrarea noilor tehnologii și a transdisciplinarității în activitatea de predare a științelor realiste. Am demonstrat importanța percepției *utilității* parțial mediată de asocierea dintre *competențe* și *atitudine*, ca și importanța *satisfacției* mediată parțial de asocierea dintre *competențe* și *atitudine*. Conform datelor obținute, influența stilului de predare este nesemnificativă ca moderator pentru toate relațiile studiate. Relația dintre *competențe* și *atitudine* este directă și intensă, iar percepția *utilității* și *satisfacția* au un rol de mediere important. Efectul direct al factorului *competențelor* asupra *utilității*, *atitudinii* și *satisfacției* este puternic, însă efectul direct al *utilității* și *satisfacției* asupra *atitudinii* este slab. Înțelegerea acestor relații particulare poate îmbunătăți performanțele integrării *strategiilor* didactice respective în sistemul de educație. Rezultatele obținute întăresc convingerea că *atitudinea* profesorilor este, în primul rând, influențată de *competențele* acestora și nu de beneficiile pe termen scurt pe care profesorul le poate avea.

Investigația științifică – strategie didactică pentru predarea Fizicii în învățământul preuniversitar
drd. Fabiola - Sanda Chiriacescu

Caracterul integrat al *strategiei* didactice bazate pe investigație științifică se adresează anumitor discipline și ia în considerare circulația informației între diferite domenii de cunoaștere, precum și faptul că disciplinele sunt conectate între ele, în ciuda diversității acestora. O astfel de viziune face ca în integrarea noilor metode prin implementarea investigației științifice să fie provocatoare. Acest proces implică o abordare mai largă decât perspectiva unei singure discipline de studiu.

Un alt factor care influențează percepția *utilității strategiei* didactice bazată pe investigația științifică este relația dintre *atitudinea* profesorilor și continua scădere a numărului de ore alocate disciplinelor realiste, în defavoarea celor umaniste în planurile cadru din învățământul preuniversitar. În contextul actual, când științele și tehnologia evoluează constant, profesorii care predau discipline realiste nu mai au timp suficient să parcurgă eficient materia conform programelor de studiu. Nu au suficient timp pentru a implementa abordări integrate și transdisciplinare, precum investigația științifică, pentru a dezvolta *competențe* specifice. Rezultatele prezentate sunt încurajatoare pentru a continua promovarea investigației științifice ca *strategie* didactică pentru a educa elevii în domeniul științelor naturii în general, în Fizică, în mod special, ținând cont de faptul că Fizica este o știință crossdisciplinară și integrată. Înțelegerea cauzalității dintre *competențe* și *atitudine* poate aduce perspective utile în experiențele profesorilor care predau discipline realiste.

Pe baza rezultatelor obținute în urma studiului prezentat, se impune acordarea unei atenții sporite implementării strategiei de investigație științifică atunci când vine vorba de studiul Fizicii la nivel preuniversitar. Este motivul pentru care, în teza de față voi prezenta câteva instrumente potrivite acestei strategii, instrumente menite sporirii competențelor profesorilor și, ca rezultat, o modificare a atitudinii acestora în sensul aplicării acestei metode deosebit de eficiente.

CAPITOLUL II

INTEGRAREA INSTRUMENTELOR DIDACTICE ALTERNATIVE ÎN STUDIUL DINAMIC AL TORSIUNII

II.1. Introducere

Deși activitățile experimentale au avantaje de necontestat în studiul Fizicii, apar probleme legate de aplicarea acestora. În laboratoarele tradiționale de multe ori aparatura utilizată este veche, masivă, greu de manipulat, iar măsurătorile nu sunt foarte precise. Se pot întâlni și dispozitive foarte complexe care necesită pregătire specială pentru a putea fi utilizate [105], ceea ce poate constitui un obstacol în calea învățării. Dotarea laboratoarelor cu aparatură modernă este foarte costisitoare și modernizarea este greu de realizat în majoritatea cazurilor.

În continuare, voi prezenta două abordări folosind tehnologiile moderne aplicate pentru studiul dinamic al torsiunii. Folosind dispozitivul mecanic clasic, am adaptat dispozitive electronice de achiziție și prelucrare a datelor experimentale: analiza video folosind programul Tracker și colectarea datelor cu ajutorul unui dispozitiv electronic bazat pe microcontrolerul Arduino.

II.2. Studiul dinamic al torsiunii – dispozitivul experimental, noțiuni teoretice [41, 107]

Dispozitivul experimental folosit pentru studiul dinamic al torsiunii în laboratorul de Mecanică al Facultății de Fizică, Universitatea București este alcătuit dintr-un suport fix de care este atașat un fir de oțel (Fig. II.1). La jumătatea firului, este atașată o bară metalică pe care pot culisa doi cilindri cu mase identice. Bara este poziționată orizontal, simetric față de fir. Pe bara metalică sunt prevăzute marcaje care permit așezarea simetrică a cilindrilor. Dispozitivul are atașat un raportor care permite măsurarea unghiurilor de deviație ale barei față de poziția de echilibru [108].

Scopul principal al dispozitivului este de a măsura constanta de torsiune C a firului metalic, conform relației [41, 108, 109]:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{C}} \Leftrightarrow C = \frac{4\pi^2 I_0}{T_0^2} \quad (\text{II.1})$$

unde T_0 este perioada de oscilație a barei, iar I_0 este momentul de inerție față de axa care trece prin centrul barei, care este totodată și axa de suspendare a firului.

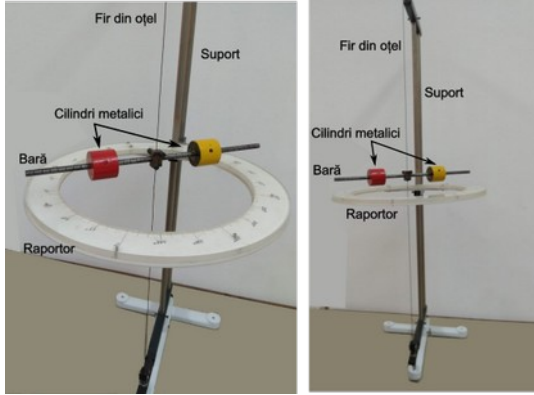


Fig. II.1. Dispozitivul experimental folosit pentru studiul dinamic al torsionii

Pentru dispozitivul experimental folosit în cazul de față, valorile parametrilor de construcție sunt [108]: lungimea barei: $l=358\pm 1 \text{ mm}$; masa barei: $m_0=150\pm 1 \text{ g}$; masa unui cilindru: $m_c=350\pm 1 \text{ g}$; lungimea cilindrului: $l_c=35\pm 1 \text{ mm}$; raza exterioară a cilindrului: $R=20\pm 0,05 \text{ mm}$; raza interioară a cilindrului: $r=3,95\pm 0,05 \text{ mm}$.

Folosind valorile date, se poate calcula valoarea momentului de inerție al barei $I_0=1,602\cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ și se poate determina momentul de inerție al fiecărui cilindru față de centrul său de greutate $I_c=0,072\cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Astfel se obține

$$Z=I_0+2 I_c=1,746\cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \quad (\text{II.10})$$

Având în vedere că perioada de oscilație se poate scrie $T=2\pi \sqrt{\frac{I}{C}}$, se poate determina pătratul perioadei ca fiind:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{C} \cdot (Z+2m_c d^2) \quad (\text{II.11})$$

Se observă că pătratul perioadei de oscilație depinde liniar de pătratul distanței de la centrul de greutate al fiecărui cilindru până la axa de oscilație. Acest lucru se urmărește a fi demonstrat experimental. Se vor măsura perioadele de oscilație pentru diferite distanțe dintre centrele cilindrilor și centrul de

oscilație, se va trasa dependența și se va verifica dacă este liniară. Apoi, din ecuația (II.11) se va determina constanta de torsiune a firului, C . Pentru aceste determinări am folosit două metode alternative, bazate pe utilizarea noilor tehnologii urmărind creșterea preciziei determinărilor, metode care vor fi prezentate în continuare.

II.3. Studiul dinamic al torsiunii folosind programul Tracker [41]

II.3.1. Programul de analiză video Tracker și utilizarea lui în experimentele de Fizică

Folosirea analizei video este considerată a fi un instrument foarte eficient care permite studierea fenomenelor evidențiate experimental și înțelegerea mai bună a acestora [41, 112 - 117].

Tracker este un program de analiză video și de modelare construit pe platforma *Open Source Physics (OPS)*. Este un program dedicat studiului Fizicii, oferit gratuit și îmbunătățit continuu, proiectat pentru a fi folosit eficient în Fizica Educațională, ușurând în mare măsură procesul de predare – învățare a Fizicii [118]. Programul este ușor de folosit, fiind foarte intuitiv.

Programul poate determina 24 de mărimi fizice prestabilite, dar se pot adăuga și altele, introducând manual formulele necesare. În acest fel, pot fi urmărite simultan derularea experimentului cu viteză redusă, colectarea datelor în tabelul de valori, precum și modul în care evoluează construcția graficului.

Programul de analiză video Tracker a fost integrat și în cadrul experimentului de determinare a accelerației gravitaționale cu ajutorul pendulului Kater cu rezultate foarte bune, valorile obținute fiind foarte apropiate de cele reale [120].

În subcapitolul următor voi prezenta metoda analizei video folosită în cazul studiului dinamic al torsiunii, în urma căruia elevii se familiarizează cu folosirea analizei video în cadrul experimentelor de Fizică în general, de mecanică în special și sunt ajutați să depășească dificultățile legate de acest experiment îmbunătățind precizia măsurătorilor.

II.3.2. Studiul dinamic al torsiunii folosind programul Tracker [41]

Dispozitivul experimental este prezentat în Fig. II.4. Acesta constă în dispozitivul mecanic descris în subcapitolul II.2, căruia i-am atașat o cameră video pentru a filma mișcarea pendulului de torsiune. Camera video folosită este

modelul Sports Action Camera și a fost programată să filmeze cu 120 de cadre pe secundă (120 fps).

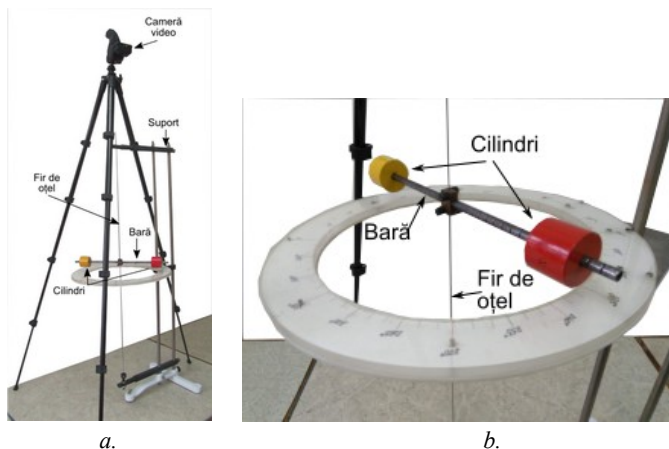


Fig. II.4. Dispozitivul experimental: a. Vedere generală;
b. Detaliu cu bara metalică și cele două mase cilindrice
(preluat și prelucrat [41])

Camera a fost fixată în partea de sus a dispozitivului, în poziție orizontală, astfel încât obiectivul camerei să fie paralel cu solul. De menționat că pe parcursul întregului experiment camera a rămas fixată în aceeași poziție, tocmai pentru a obține precizie și coerență în determinări (Fig. II.4.a.).

Pe cei doi cilindri ai pendulului de torsiune au fost marcate două puncte pentru a putea fi ușor de identificat și de urmărit în programul de analiză video. Cei doi cilindri au fost așezați simetric la capetele barei metalice, iar dispozitivul a fost deviat din poziția de echilibru, având grijă ca unghiul de deviație să nu fie mai mare de 5° pentru a asigura condiția micilor oscilații. Lăsat să oscileze liber, în plan orizontal, mișcarea acestuia a fost filmată, astfel încât pe înregistrare să existe un număr suficient de mare de oscilații complete pentru a putea obține informații semnificative. Cilindrii au fost deplasați simetric de-a lungul barei, către centrul de oscilație, cu câte 1 cm de fiecare dată și s-a repetat procedura filmând mișcările de oscilație pentru fiecare poziție. S-a filmat și oscilația provocată în aceleași condiții pentru bara metalică, fără cilindri atașați.

Materialele video astfel obținute au fost încărcate în programul Tracker pentru a fi analizate rând pe rând. Odată filmul de prelucrat încărcat în program,

am urmat pașii de lucru specifici. Pentru început am făcut calibrarea. Pentru aceasta am folosit un marcaj făcut anterior pe suprafața raportorului din dotarea dispozitivului experimental. Marcajul nu este altceva decât un segment cu lungimea bine determinată, în cazul de față 10 cm . Acesta este folosit ca referință, iar programul își va calibra automat toate măsurătorile folosind acest reper. Reperul este plasat în același plan în care se derulează oscilația, la aceeași distanță față de camera video, astfel evitând apariția erorilor de calibrare. Apoi, am fixat originea sistemului de axe de coordonate în centrul de oscilație al pendulului de torsiune. Am fixat punctul material de urmărit pe unul dintre marcajele făcute pe cilindrul pendulului și am ales mărimile fizice pe care programul să le afișeze, atât sub forma de tabel de date, cât și ca reprezentare grafică: coordonatele x și y , modulele vectorului de poziție r , vitezei liniare v și al vitezei unghiulare ω . Am pornit analiza video și am lăsat-o să ruleze cât mai mult posibil pentru a fi analizate cât mai multe oscilații complete astfel încât analiza să fie relevantă (Fig. II.5).

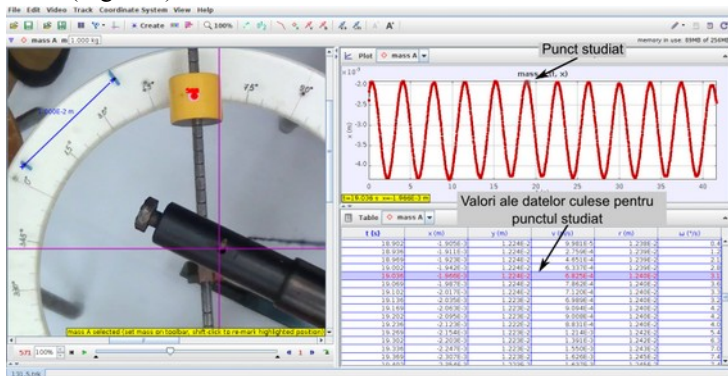


Fig. II.5. Periodicitatea mișcării oscilatorii a pendulului de torsiune analizată cu programul Tracker (preluat și prelucrat [41])

Pe parcursul analizei, filmul se derulează cu încetinitorul, cadru cu cadru, tabelul de date se completează pe măsură ce fiecare secvență se derulează, iar odată cu acestea se construiește și graficul mărimii alese în funcție de timp. În cazul de față, pentru a determina perioada de oscilație, am ales vizualizarea graficului coordonatei x în funcție de timp. Calitativ se observă periodicitatea foarte bună a mișcării, precum și variația sinusoidală în timp. Am ales pe grafic două puncte care oscilează în fază aflate cât mai departe unul de celălalt și am

determinat intervalul de timp dintre acestea, precum și numărul de oscilații complete înregistrate. Pentru că filmarea a fost făcută cu o viteză de 120 fps, numărul mare de cadre surprinse în fiecare secundă permite determinarea intervalului de timp cu precizie de câteva sutimi de secundă. Raportând intervalul de timp citit la numărul de oscilații complete, se determină perioada mișcării oscilatorii cu toată rigurozitatea necesară unui experiment științific.

Așa cum am arătat, dependența pătratului perioadei de oscilație (T^2) de pătratul distanței de la centrul de greutate al fiecărui cilindru până la axa de oscilație (d^2) este liniară și este descrisă de relația (II.11). Folosind datele experimentale obținute am trasat graficul acestei dependențe (Fig. II.7). Aproximația liniară a curbei din Fig. II.7 are panta $a = 691,748 \pm 6,257 \text{ s}^2/\text{m}^2$. Înlocuind masa cilindrului în relația (II.11) se poate determina constanta de torsiune a firului $C_1 = 3,990 \cdot 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}/\text{rad}$.

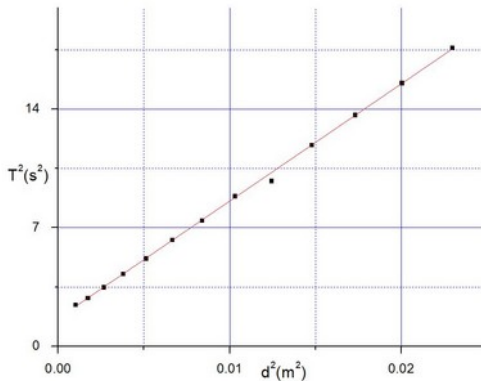


Fig. II.7. *Dependența pătratului perioadei de oscilație de pătratul distanței de la centrul de greutate al fiecărui cilindru până la axa de oscilație reprezentată de firul de oțel [41]*

Pentru a putea compara, am determinat perioada de oscilație a barei metalice fără cilindri atașați și am obținut valoarea $T_0 = 1,258 \text{ s}$. Folosind momentul de inerție al barei în ecuația (II.1) am obținut pentru constanta de torsiune valoarea $C_2 = 3,990 \cdot 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}/\text{rad}$, valoare identică cu C_1 , determinată din grafic. Analizând aproximația liniară a curbei din Fig. II.7, am obținut factorul de ajustare $b = 1,657 \pm 0,075 \text{ s}^2$. Folosind valoarea determinată grafic pentru constanta de torsiune C_1 , am determinat valoarea $Z_1 = 1,678 \cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, valoare aproape

identică cu valoarea teoretică calculată folosind parametrii dispozitivului experimental ($Z=1,746 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$).

Pe de altă parte, dacă se iau două valori din setul de date, de exemplu distanța $d_1=5,15 \text{cm}$, corespunzătoare perioadei $T_1=1,87 \text{s}$, respectiv distanța $d_2=12,15 \text{cm}$, pentru care perioada este $T_2=3,45 \text{s}$ și apoi se calculează și se obține $Z_2=1,673 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$. Valoarea determinată reprezintă un rezultat foarte apropiat de valoarea Z_1 determinată din graficul din Fig. II.7 și de valoarea Z determinată teoretic.

Valoarea mărimii Z_2 am utilizat-o pentru a calcula momentul de inerție al barei metalice, obținând $I_0=1,598 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$, valoare care este de asemenea foarte apropiată de cea calculată pentru bară utilizând valorile numerice ale parametrilor dispozitivului experimental ($I_0=1,602 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$) [108].

Rezultatele experimentale obținute în urma lucrării de laborator de studiu dinamic al torsionii folosind analiza video cu ajutorul programului Tracker au fost foarte precise. Metoda s-a dovedit a furniza rezultate mai bune decât cea clasică, folosind cronometrul pentru măsurarea intervalelor de timp. În plus, experimentul este foarte interactiv, elevii fiind puși în situația de a modifica în timp real mișcarea oscilatorie mutând masele cilindrice de-a lungul barei metalice. Experimentul permite o analiză riguroasă a fenomenului studiat folosind atât înregistrările video, cât și posibilitățile programului Tracker de a vizualiza la viteză redusă și de a prelucra informațiile furnizate de fișierele video. Pe de altă parte, dispozitivul experimental și programul de analiză video pot furniza rapid date experimentale riguroase și reproductibile. Metoda de lucru și experimentul în sine sunt simple și cu costuri reduse deoarece sunt incluse dispozitive simple, aflate la îndemâna tuturor. Culegerea de date, constând în realizarea fișierelor video și prelucrarea lor în programul Tracker pot fi făcute fără costuri mari, folosind dispozitive aflate la îndemână, cum ar fi camera video a unui telefon inteligent și un calculator care nu are nevoie de parametri deosebiți.

Abordarea prezentată a experimentului de studiu dinamic al torsionii reprezintă o abordare IBL (*Inquiry Based Learning* – învățare prin investigație) integrând învățarea bazată pe utilizarea calculatorului. Integrarea programului Tracker în experiment generează experiențe de explorare în cazul cărora elevii construiesc modele ale mărimilor fizice și le aplică pentru prelucrarea datelor experimentale într-un mediu de instruire specific laboratorului de Fizică [120, 121].

II.4. Dispozitivul Arduino folosit ca instrument didactic pentru studiul dinamic al torsiunii [107]

II.4.1. Arduino – prezentarea dispozitivului și aplicațiile sale în Fizică

Arduino este o platformă *open-source* constituită atât din plăcile electronice cu microcontrolere, cât și din softurile necesare funcționării acestora. Microcontrolerul Arduino poate fi conectat cu diferiți senzori și sisteme de acționare care pot interacționa cu mediul înconjurător. Software-ul Arduino este *open-source* și poate fi descărcat de pe pagina web dedicată, putând rula în mai multe sisteme de operare – Windows, Mac OS, Linux. După descărcare, se rulează instalarea programului. De asemenea, trebuie descărcată și biblioteca "LM35" care cuprinde fișierele softului Arduino [106]. Construirea dispozitivelor constituie o metodă practică de a introduce elevii în conceptele de bază ale microelectronicii, metodologia proiectelor de tip "construiește singur" (*DIY - do-it-yourself*) oferind oportunitatea dezvoltării creativității în proiectele de investigație științifică [106].

Au fost construite dispozitive de măsurare și culegere de date bazate pe Arduino pentru o mare varietate de experimente. Un experiment cu rezultate foarte bune unde datele au fost culese cu un dispozitiv Arduino a fost determinarea accelerației gravitaționale cu ajutorul pendulului Kater [120].

II.4.2. Determinarea perioadei de oscilație a pendulului de torsiune cu ajutorul dispozitivului Arduino. Rezultate [107]

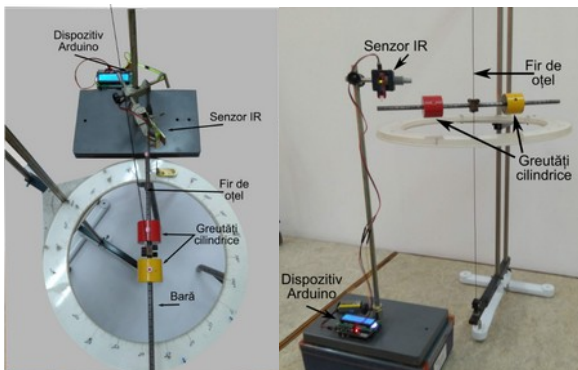
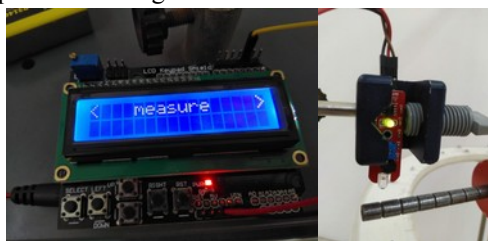


Fig. II.8. Detalii ale dispozitivului experimental
(preluat și adaptat [107])

Pentru a studia pendulul de torsiune am folosit un dispozitiv experimental alcătuit din două părți principale: dispozitivul experimental mecanic prezentat în subcapitolul II.2. și dispozitivul electronic bazat pe un multicontroller Arduino folosit pentru a măsura perioada de oscilație a pendulului (Fig. II.8).

Dispozitivul electronic folosit pentru a măsura perioada de oscilație a pendulului de torsiune este alcătuit în principal dintr-un senzor de infraroșu și un microcontroller Arduino [123]. În cazul de față, dispozitivul are conectat un ecran LCD și un panou de control (Fig. II.9. a.). Senzorul folosit este bazat pe un detector TSOP (*Thin Small Package*) (Fig. II.9. b.). Principiul de funcționare al senzorului este reprezentat în Fig. II.10.



a.

b.

Fig. II.9. Dispozitivul electronic – detalii. a. Dispozitivul Arduino cu ecranul LCD și panoul de control atașate; b. Senzorul de infraroșu bazat pe un detector TSOP [107]

Senzorul este îndreptat către capătul barei metalice care intră în alcătuirea pendulului de torsiune (Fig. II.9.b). În timpul oscilațiilor, senzorul este activat doar atunci când bara trece prin dreptul lui. În felul acesta, se pot determina două intervale de timp: intervalul de timp când bara este în dreptul senzorului și intervalul de timp când bara nu se găsește în raza lui de acțiune, iar detectorul nu înregistrează nimic. Suma celor două intervale de timp reprezintă jumătate din perioada de oscilație a pendulului de torsiune. Datele sunt achiziționate și transferate în calculator, unde sunt înregistrate, prelucrate și interpretate. Astfel, se pot colecta și prelucra un număr mare de date culese cu precizie mult mai mare decât ne oferă aparatura clasică de laborator.

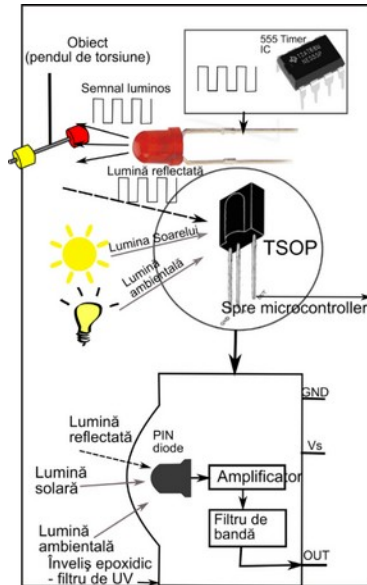


Fig. II.10. Principiul de funcționare al senzorului și detectorului TSOP
(preluat și adaptat [107])

Pentru început, am așezat cilindrii la extremitățile barei metalice, simetric față de centrul de oscilație. Bara a fost deviată față de poziția de echilibru având grijă la respectarea aproximației micilor oscilații, unghiul de deviație fiind de maxim 5° . Pentru etapele următoare, cilindrii au fost mutați cu câte un centimetru către centrul de oscilație, păstrând simetria față de centrul de oscilație și sistemul a fost scos din poziția de echilibru de fiecare dată în aceleași condiții. De fiecare dată, s-a urmărit ca oscilațiile produse să se desfășoare în plan orizontal. Pentru toate situațiile descrise s-a determinat perioada de oscilație folosind dispozitivul electronic descris. Măsurătorile au fost făcute pe un număr cât mai mare de oscilații pentru a îmbunătăți precizia măsurătorilor. Ca și determinare de referință, a fost calculată în același mod și perioada de oscilație a barei metalice, fără a avea cilindrii atașați.

Datele culese au constat în determinările celor două intervale de timp – cât bara a trecut prin raza de acțiune a detectorului și cât detectorul nu a înregistrat nimic. Aceste măsurători au fost transferate în calculator și colectate într-un fișier Excel. Folosind facilitățile de calcul ale acestuia, am calculat perioada de oscilație pentru un număr cât mai mare de oscilații cu puțință și am

mediat valorile obținute. Teoretic, s-a demonstrat că dependența pătratului perioadei de oscilație, T^2 , de pătratul distanței dintre centrele de greutate ale cilindrilor și centrul de oscilație, d^2 , trebuie să fie liniară, conform relației (II.11), relație ce ține cont de parametri de construcție ai dispozitivului experimental. Cu ajutorul acestei relații se poate determina constanta de torsiune a pendulului, C .

Datele experimentale obținute au fost într-o concordanță foarte bună cu calculele teoretice, arătând această dependență liniară după cum se observă în Fig. II.11. Se poate observa din grafic că punctele obținute se aliniază foarte bine. Aproximația liniară a graficului are panta $a = 667,685 \pm 11,006 \text{ s}^2/\text{m}^2$, iar intersecția acesteia cu axa este $b = 1,788 \pm 0,132 \text{ s}^2$.

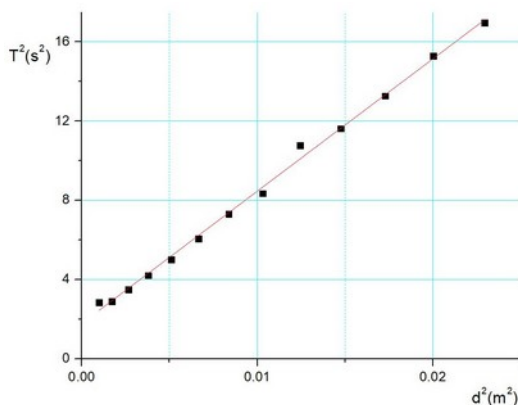


Fig. II.11. Graficul dependenței T^2 de d^2 obținut din prelucrarea datelor experimentale [107]

Din ecuația (II.11), folosind panta graficului și masa cilindrilor se poate calcula constanta de torsiune a firului metalic obținută experimental:

$$C_{exp.} = 4,13 \cdot 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}/\text{rad}$$

După calcularea din grafic a constantei de torsiune C_{exp} , folosind și valoarea punctului de intersecție în ecuația (II.11), se poate calcula:

$$Z_{graf} = I_0 + I_c = 1,872 \cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^3$$

Această valoare obținută din grafic este într-o concordanță foarte bună cu valoarea teoretică. Pentru a verifica validitatea metodei de măsurare, am calculat valoarea constantei Z_{exp} folosind metoda descrisă în [41]. Dacă T_1 și T_2 sunt perioadele de oscilație atunci când cilindrii sunt fixați pe bara metalică la

distanțele d_1 , respectiv d_2 față de centrul de oscilație, se poate calcula valoarea constantei folosind:

$$Z_{\text{exp}} = 2 m_c \cdot \frac{T_1^2 d_2^2 - T_2^2 d_1^2}{T_2^2 - T_1^2} \quad (\text{II.12})$$

Din setul de date obținut am ales valorile $T_1 = 1,871 \text{ s}$ corespunzătoare distanței $d_1 = 5,15 \text{ cm}$, respectiv $T_2 = 13,271 \text{ s}$, corespunzătoare distanței $d_2 = 13,15 \text{ cm}$. Valoarea calculată este $Z_{\text{exp}} = 1,815 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^3$. Folosind această constantă, am calculat momentul de inerție al barei metalice și am obținut $I_{0_exp} = 1,634 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^3$, valoare care este foarte apropiată de cea calculată teoretic. Folosind ecuația (II.1) pentru perioada oscilațiilor barei metalice fără cilindri și valorile determinate experimental pentru I_{0_exp} , am obținut din nou constanta de torsiune a firului $C_{\text{exp}} = 4,14 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$.

Valorile experimentale obținute prin această metodă de culegere și prelucrare a datelor sunt în acord foarte bun atât cu cele teoretice, cât și cu cele din subcapitolul precedent [41], dovedind validitatea metodei folosite pentru a determina constanta de torsiune a unui fir metalic.

II.5. Concluziile capitolului II

Învățarea prin investigație științifică (IBL) duce la o mai bună înțelegere a fenomenelor fizice, implicit a noțiunilor specifice și este o abordare care poate fi folosită în orice context de predare sau de învățare [107]. În acest context, este util ca dispozitivele folosite să fie adecvate nevoilor investigației propuse, cu un nivel înalt de precizie, funcționarea lor să fie clară și modernă.

Utilizarea noilor tehnologii în laboratoarele de Fizică și-a dovedit utilitatea din multe puncte de vedere. Problematizarea specifică IBL și implicarea amintită duce la o creștere a capacității de gândire critică și a motivației pentru învățare. Un alt avantaj îl constituie faptul că instrumentele despre care am vorbit – programul Tracker cu dispozitivul de filmat aferent și Arduino cu senzorul atașat – sunt ușor de manipulat de către elevi, precizia este mai mult decât satisfăcătoare, iar dispozitivele respective sunt foarte fiabile, la prețuri de cost rezonabile.

CAPITOLUL III

INVESTIGAȚIA ȘTIINȚIFICĂ - STRATEGIE DIDACTICĂ ÎN STUDIUL FENOMENELOR ACUSTICE

III.1. Introducere [42]

În acest capitol, voi prezenta o abordare alternativă a unui experiment clasic de măsurare a vitezei sunetului în aer, abordare bazată pe strategia investigației științifice, incluzând noile tehnologii bazate pe instrumente IT. Experimentul se bazează pe măsurarea frecvenței și a lungimii de undă pentru undele staționare care se formează într-un tub închis la un capăt. Pentru a culege datele experimentale, am folosit tehnici de analiză audio și video utilizând programele Audacity și Kdenlive, programe gratuite și *open-source*.

Metoda de studiu pe care o voi prezenta în acest capitol reprezintă o abordare specifică strategiei didactice de învățare prin investigație și se poate folosi în activitățile de laborator clasice, dar se poate adapta foarte ușor și la condițiile învățământului *on-line*, situație provocată de problema sanitară a pandemiei apărută în 2020, fiind o alternativă viabilă și eficientă pentru studiul la distanță al fenomenului fizic respectiv.

La baza lucrării de laborator pe care am abordat-o stau rezonatorii acustici. Aceștia sunt tuburi sonore cilindrice, închise la un capăt, în care se produc unde sonore datorită vibrației coloanei de aer, vibrație provocată de o sursă externă. Sursa externă transmite un semnal, acesta se reflectă pe capătul închis, iar unda incidentă și unda reflectată suferă fenomenul de interferență a undelor staționare. Tubul sonor utilizat are lungime variabilă.

III.2. Suport teoretic

III.2.1. Viteza sunetului în gaze [110, 127, 128]

Se consideră o coloană de gaz ideal, închisă într-un cilindru vertical, prevăzut cu un piston care izolează gazul de mediul exterior, dar se poate mișca liber, fără frecare.

Viteza sunetului în gazul ideal se poate scrie:

$$c = \sqrt{\gamma \cdot \frac{RT}{\mu}} = c_0 \sqrt{1 + \alpha t} \quad (\text{III.12})$$

unde: μ – masa molară a gazului; $R = 8314,3 \text{ J/kmol}\cdot\text{K}$ – constanta gazului ideal;

$\alpha = \frac{1}{273,15} \text{ grad}^{-1}$ - coeficientul termic al presiunii în procesul izocor; t – temperatura gazului.

Se poate trage concluzia că viteza sunetului în gaze crește cu temperatura și nu depinde de presiune.

III.2.2. Interferența undelor sonore [127]

Se consideră două unde sinusoidale care se deplasează în aceeași direcție într-un mediu elastic liniar. Undele au aceeași frecvență și aceeași lungime de undă, dar sunt defazate cu φ .

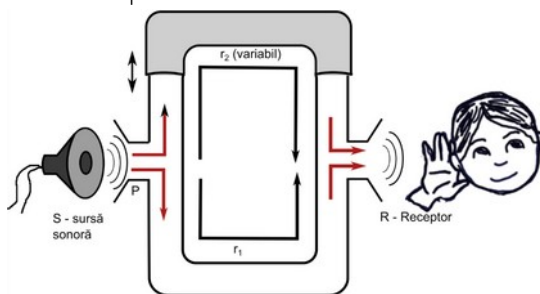


Fig. III.2. Studiul interferenței undelor sonore. Sunetul provenit de la difuzor, se descompune pe cele două căi r_1 și r_2 , undele rezultate se suprapun în partea opusă și ajunge la ureche unda sonoră rezultată (preluat și adaptat [127])

Pentru a studia interferența undelor sonore, se consideră dispozitivul din Fig. III.2, format dintr-un tub în formă de U. În partea stângă a acestuia se află sursa sonoră care emite un semnal sonor. În punctul P unda sonoră se divide, o parte parcurgând tubul cu lungimea r_1 , cealaltă tubul cu lungimea variabilă r_2 . În punctul R undele vor suferi fenomenul de interferență, unda rezultantă ajungând la receptor.

Dacă diferența de drum între cele două unde este un multiplu par al jumătății lungimii de undă: $\Delta r = |r_2 - r_1| = 2n \frac{\lambda}{2}$; cu $n = 0, 1, 2, \dots$, undele care ajung la receptor sunt în fază și sunetul este amplificat, receptorul înregistrând un maxim de intensitate.

Dacă diferența de drum este un multiplu impar al jumătății lungimii de undă: $\Delta r = |r_2 - r_1| = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$; cu $n = 0, 1, 2, \dots$, undele sonore se atenuează, receptorul înregistrând un minim.

III.2.3. Tuburi sonore închise [110, 129]

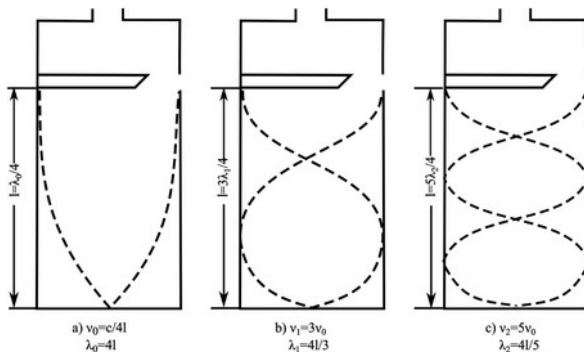


Fig. III.4. Noduri și ventre obținute într-un tub sonor închis pentru primele trei armonice. (preluat și adaptat [129])

Frecvențele fundamentale sunt multipli impari ai frecvenței fundamentale.

III.3. Rezonatori acustici – metodă de determinare a vitezei sunetului în aer [42]

Abordarea experimentală ce urmează a fi descrisă este bazată pe strategia investigației științifice și se adresează elevilor de liceu. La bază stă utilizarea aparaturii clasice de laborator, căreia i se adaugă tehnologii moderne aflate la îndemâna oricui – cameră video, telefon inteligent și calculator, precum și programe pentru calculator de analiză gratuite și *open-source*. Foarte important, în cazul metodei pe care am construit-o, este faptul că se înlocuiește detectarea nodurilor și ventrelor de interferență, care în mod obișnuit se face cu urechea, cu metode tehnologice, ceea ce duce la o creștere a preciziei determinărilor.

În cele ce urmează, voi prezenta modul de analiză a fenomenului de rezonanță a undelor sonore într-un tub închis la un capăt. Pentru acest experiment am folosit un tub vertical, umplut parțial cu apă, la capătul său superior aflându-se un difuzor. Difuzorul emite sunete cu frecvența bine stabilită, iar acestea se

reflectă pe suprafața liberă a apei. Unda sonoră incidentă și cea reflectată vor interfera, formând noduri și ventre, tubul devenind un rezonator acustic [129]. Sunetele rezultate pot fi detectate și înregistrate atât de urechea umană, cât și cu ajutorul unui microfon [130, 131]. Funcționarea acestui tip de rezonatori acustici se bazează pe fenomenul de rezonanță care apare în cazul undelor staționare.

Scopul lucrării experimentale descrise este calcularea vitezei sunetului în aer pe baza determinării frecvenței și a lungimii de undă a undelor sonore în tubul închis. Lungimea tubului poate fi modificată prin umplerea sau golirea cu apă, suprafața liberă a apei constituind capătul închis al tubului. Pentru aceasta, am determinat poziția nodurilor și ventrelor pentru sunete cu diferite frecvențe produse de difuzor în interiorul dispozitivului experimental. Am propus o nouă abordare bazată pe înregistrarea video și audio a experimentului și prelucrarea fișierelor cu programe specializate care să ducă la o precizie mai bună a determinărilor experimentale.

Pentru realizarea fișierelor video, am folosit o cameră modelul *Sports Action Camera* (dar poate fi folosită orice cameră video aflată la îndemână, cu condiția să aibă caracteristici suficient de bune pentru a obține filme cu calitate bună a sunetului și a imaginii). Astfel de camere video se găsesc ușor în zilele noastre, fără costuri deosebite. Numeroase modele de telefoane inteligente au în dotare camere video cu performanțe tehnice deosebite.

Pentru a analiza fișierele video, am folosit două programe pentru calculator gratuite și *open-source* – Audacity și Kdenlive. Acestea se pot descărca de pe internet și sunt permanent actualizate și îmbunătățite de comunitatea de utilizatori. În plus, pe internet, atât pe site-urile proprii, cât și pe alte canale se găsesc numeroase tutoriale care ajută utilizatorii începători să folosească programele.

Audacity [132] este un program specializat de analiză și prelucrare a fișierelor audio. Acesta are avantajul că poate fi instalat și poate rula sub mai multe sisteme de operare – Windows, MacOS sau Linux, fiind un program foarte versatil și intuitiv. Programul Audacity este folosit pentru înregistrarea și analiza undelor sonore [133 - 136] fiind o alternativă eficientă pentru alte programe specifice care nu sunt gratuite.

Kdenlive [139] este un program destinat editării fișierelor video, de asemenea gratuit și *open-source*. Codul programului a fost inițial dezvoltat pentru sistemul de operare Linux, dar ulterior a fost adaptat astfel încât în prezent poate fi instalat și utilizat și sub sistemele de operare Windows și MacOS. Programul

este ușor de înțeles și de folosit, fiind în același timp un program de precizie, oferind performanțe similare programelor profesionale. Acesta poate fi utilizat pentru realizarea de materiale video utile activității didactice în general, lecțiilor de Fizică în mod special, reducând foarte mult costurile, fără a face rabat la calitatea materialelor realizate. Un astfel de exemplu este utilizarea Kdenlive pentru a realiza expuneri conceptuale ale unor subiecte teoretice complexe din Teoria relativității restrânse pentru elevii de liceu [137, 138].

III.3.1. Dispozitivul experimental

Componenta de bază a dispozitivului experimental folosit pentru determinarea vitezei sunetului în aer este un tub cilindric de sticlă, cu lungimea de $1,4\text{ m}$ (Fig. III.5). La capătul inferior tubul este conectat la o sursă de apă astfel încât poate fi umplut sau golit, modificându-se lungimea coloanei de aer din tub.

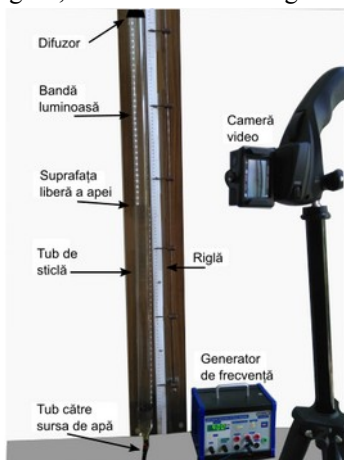


Fig. III.5. Dispozitivul experimental folosit pentru determinarea vitezei sunetului în aer (preluat și adaptat [42])

Cu ajutorul unui robinet se poate controla cu precizie viteza de umplere sau golire a tubului. Coloana de aer cuprinsă între suprafața liberă a apei și capătul superior al tubului reprezintă rezonatorul acustic a cărui lungime poate fi variată cu ușurință prin procedeul descris mai sus.

La capătul superior al tubului, este montat un difuzor conectat la un generator de frecvențe. Difuzorul reprezintă sursa undelor sonore și produce sunete cu caracteristici cunoscute care sunt direcționate către interiorul tubului.

Odată produse, undele sonore se propagă în coloana de aer din interiorul tubului și ajung la suprafața liberă a apei unde sunt reflectate. Unda directă va interfera cu unda reflectată, apărând astfel noduri și ventre [127, 140] ca rezultat al fenomenului de rezonanță care apare în cazul undelor staționare. În felul acesta tubul funcționează ca un rezonator acustic.

Distanța dintre două noduri, respectiv două ventre consecutive (puncte unde se obțin minime, respectiv maxime de interferență) este egală cu jumătate din lungimea de undă a sunetului, $\lambda/2$ [110, 128, 129, 141]. Măsurând aceste distanțe, se poate calcula lungimea de undă. Odată cunoscută lungimea de undă, se poate calcula viteza sunetului:

$$c = \lambda \cdot \nu \quad \text{(III.25)}$$

unde ν este frecvența sunetului stabilită pentru fiecare determinare cu ajutorul generatorului de frecvențe.

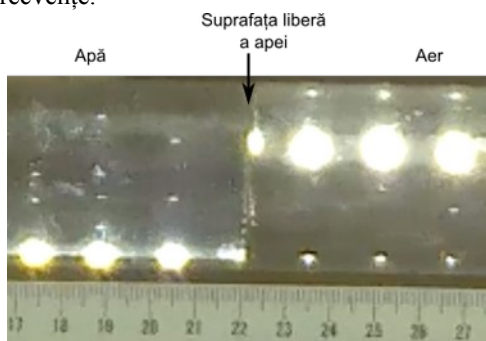


Fig. III.6. Identificarea poziției suprafeței libere a apei; datorită refracției luminii imaginea LED-urilor își schimbă poziția (preluat și adaptat [42])

Paralel cu tubul de sticlă am montat o riglă pentru a putea determina cât mai exact pozițiile nodurilor și ale ventrelor care se formează în coloana de aer. Tot paralel cu tubul, am mai montat o bandă luminiscentă cu LED (Light Emitting Diode) care permite obținerea unei imagini mai bune a suprafeței libere a apei, deci o identificare mai exactă a poziției acesteia, implicit a lungimii coloanei de aer. În plus, se poate observa un fenomen interesant: din cauza refracției luminii, imaginea LED-urilor își schimbă poziția, trecând de pe o parte pe cealaltă a tubului (Fig. III.6), oferind astfel o indicație calitativă suplimentară asupra poziției suprafeței libere a apei la un moment dat.

În fața tubului, pe un trepied, am montat o cameră video *action type* (Senso AT-30S Sport 4K) care filmează cu o rezoluție de 4K pixeli și 30 de cadre pe secundă (30 fps – frames per second). Am utilizat trepiedul pentru a evita perturbările datorate mișcărilor involuntare ale cameramanului, mișcări ce pot afecta calitatea filmului. Fiecare etapă a experimentului este filmată, obținând în acest fel fișiere care conțin concomitent atât informațiile vizuale despre modul în care se modifică lungimea tubului sonor, cât și sunetul produs de rezonator. În faza de analiză a fișierelor, se vor determina cu precizie pozițiile punctelor în care sunetul are intensitate minimă sau maximă, corespunzătoare nodurilor, respectiv ventrelor datorate interferenței.

III.3.2. Modul de lucru, rezultate și discuții

Folosind setările generatorului de frecvențe, am ales amplitudini ale sunetului suficient de mari astfel încât să se asigure o calitate bună a sunetului înregistrat pe durata experimentului. De asemenea, camera video este setată pentru cea mai bună calitate a imaginii pentru a avea înregistrări clare, fără efecte nedorite. Programul Audacity permite curățarea fișierului; în acest fel, a fost redus zgomotul dat de umplerea tubului cu apă, sau cel ce apare în scurgere la golirea tubului. Pentru a avea un nivel de referință al acestor zgomote am filmat umplerea și golirea tubului fără generatorul de frecvențe, fișier care ajută programul să identifice sunetele care trebuie atenuate.

Am înregistrat experimentul atât la umplerea tubului cu apă, cât și la golire, pentru frecvențe ale sunetului de la 400 Hz, până la 1400 Hz, acestea fiind variate din 50 Hz în 50 Hz. Am urmărit ca viteza de umplere, respectiv de golire a tubului să fie aceeași pentru toate determinările. Astfel, am obținut suficiente fișiere de analizat încât rezultatele să fie relevante și să permită o analiză științifică riguroasă.

Fișierele obținute au fost analizate pentru început din punct de vedere al sunetului cu ajutorul programului Audacity, program specializat în analiza fișierelor audio, după cum am precizat anterior. După încărcarea fișierului în program, într-o primă etapă, înregistrarea este curățată de zgomotul de fundal. Pentru aceasta, am considerat ca zgomot de fundal de referință sunetul produs de apă și de instalația de canalizare la umplerea și golirea tubului.

Cu ajutorul programului Audacity, fișierul audio poate fi vizualizat, acesta proiectând unda sonoră fie după amplitudine (Fig. III.9), fie după spectrul de frecvențe ale sunetului înregistrat (Fig. III.10). În ambele figuri, se poate

observa că există diferențe între aspectul spectrului la umplere față de cel la golire a tubului. În ambele cazuri, se pot identifica ușor maximele și minimele, respectiv nodurile și ventrele obținute datorită rezonanței undelor staționare. Momentele de timp la care acestea au fost înregistrate se pot citi cu ușurință folosind instrumentele programului, cu o precizie de ordinul milisecundelor.

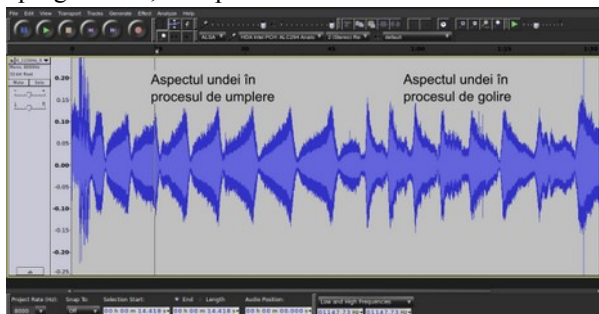


Fig. III.9. Aspectul undelor sonore obținut în urma analizei amplitudinii acestora cu ajutorul programului Audacity (preluat și adaptat [42])

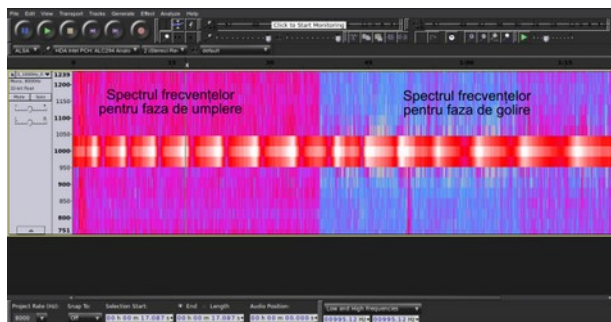


Fig. III.10. Spectrul de frecvențe al unei unde sonore obținut cu ajutorul programului Audacity (preluat și adaptat [42])

În Fig. III.10, se poate observa un fundal roșu în faza de umplere a tubului, iar în faza de golire un fundal mai puțin intens. Acesta indică un zgomot de fond mai pronunțat la umplere, zgomot care se datorează sursei de apă și care lipsește în faza de golire. Se pot observa și identifica de asemenea maximele și minimele de interferență. Maximele sunt zonele de un alb intens, iar minimele sunt liniile negre unde spectrul unei este întrerupt.

Folosind oricare dintre cele două diagrame, se poate stabili cu mare precizie momentul de timp în care apar maxime sau minime de interferență. Pentru aceasta se fixează punctul dorit printr-un click, iar pe diagramă apare o linie neagră care ne arată exact ce punct am selectat, permițând să ne asigurăm că am ales cu precizie un moment de maximă, respectiv minimă intensitate (Fig. III.9, Fig. III.10). Ambele figuri indică același moment în care se observă un maxim de interferență. În partea de jos a ecranului, se poate observa o fereastră unde este indicat momentul de timp la care a fost înregistrat punctul ales. În felul acesta, timpul este măsurat cu mare precizie, la nivel de milisecunde. Urmând procedeul descris, se identifică momentele la care apar toate nodurile și ventrele pentru fiecare fișier înregistrat. Având în vedere că între două noduri succesive, respectiv între două ventre succesive intervalul de timp este o jumătate de perioadă, informațiile colectate vor fi folosite ulterior pentru determinarea vitezei sunetului în aer.

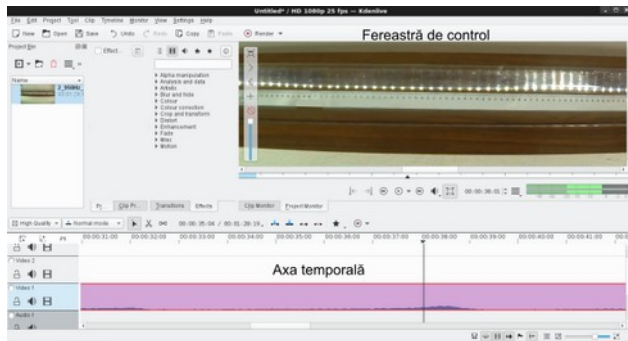


Fig. III.11. Pagina de lucru a programului Kdenlive în timpul determinării poziției suprafeței libere a apei într-un moment bine determinat (preluat și adaptat [42])

În etapa următoare de analiză se încarcă fiecare fișier în programul Kdenlive. Acesta oferă și el posibilitatea vizualizării spectrului de frecvențe al undelor sonore, dar în paralel se poate vizualiza și imaginea corespunzătoare înregistrată. În Kdenlive, am identificat fiecare moment de timp determinat anterior, iar pe imaginea corespunzătoare momentului respectiv, ce se poate vedea în fereastra de control, am putut citi cu precizie de un milimetru indicația de pe riglă în dreptul căreia s-a găsit suprafața liberă a apei din tub la momentul respectiv (Fig. III.11).

Investigația științifică – strategie didactică pentru predarea Fizicii în învățământul preuniversitar
drd. Fabiola - Sanda Chiriacescu

Programul lucrează la o frecvență de 25 de cadre pe secundă (25 fps), oferind o precizie foarte bună pentru determinarea pozițiilor nodurilor și ventrelor, cadrele vizualizate fiind la diferențe de 4 ms între ele. Pozițiile determinate permit calcularea lungimii de undă a sunetului, distanța dintre două noduri succesive, respectiv două ventre succesive, fiind egală cu jumătate din lungimea de undă. Cunoscând lungimea de undă și frecvența undei sonore, viteza sunetului se calculează cu ușurință.

Am repetat procedeul pentru fiecare moment de timp identificat anterior, pentru fiecare fișier înregistrat. Cu ajutorul programului Audacity, am identificat momentele de timp la care se înregistrează minime și maxime, iar cu ajutorul programului Kdenlive, am determinat pe riglă poziția în care se află suprafața liberă a apei în momentele respective. În felul acesta, am putut determina distanța dintre două maxime sau două minime de interferență consecutive, distanță egală cu jumătate din lungimea de undă a undei sonore. Valorile experimentale sunt prezentate în tabelul III.1. După cum se observă, în toate situațiile alese pentru măsurare, rezultatele sunt foarte apropiate, ceea ce validează metoda de lucru ca fiind viabilă și riguroasă științific.

Tabelul III.1. Valori obținute experimental

Poziția:	În timpul:	Viteza sunetului: $c = \lambda \cdot \nu$ (m/s)
Ventrelor	Umplerii	343.5 ± 0.0480
	Golirii	343.4 ± 0.0698
Nodurilor	Umplerii	343.7 ± 0.0598
	Golirii	343.5 ± 0.0748
Teoretic, la 20,4°C [140, 142]		343,5

Din datele obținute, se observă că viteza sunetului obținută este în jurul valorii de 343,5 m/s în toate variantele alese, fie analizând poziția nodurilor, fie analizând poziția ventrelor, fie la umplerea tubului, fie în faza de golire a acestuia. Temperatura ambientală la care am efectuat experimentul a fost de 21°C. Conform literaturii de specialitate, sunetul are viteza de 343,5 m/s la temperatura de 20,4°C [140, 142], ceea ce reprezintă o concordanță între rezultatul obținut experimental de noi și valoarea teoretică.

Având în vedere sursele de erori inerente acestui experiment, rezultatele obținute sunt mai mult decât satisfăcătoare. Prima sursă de erori este dată de

calitatea înregistrării care poate fi diminuată de eliminarea incompletă a zgomotelor de fond. Cu toate facilitățile programului Audacity de a elimina aceste zgomote ambientale, funcția *Noise Reduction* nu poate elimina complet sunetele nedorite datorate curgerii apei atât în etapa de umplere, cât și în cea de golire a tubului. Rezoluția imaginii poate să fie considerată o altă sursă de erori; calitatea mai slabă a imaginii care poate apărea ocazional poate duce la dificultăți în citirea cu exactitate a indicațiilor riglei.

Poate cea mai semnificativă sursă de erori este datorată poziției camerei video. Aceasta este fixată în zona mediană a tubului. Având în vedere faptul că tubul este destul de lung, pot apărea erori de citire a poziției suprafeței libere a apei atunci când aceasta se găsește în extremele tubului în momentele cheie ale experimentului – minime și maxime de interferență. Atunci când poziția suprafeței libere a apei, pe care dorim să o stabilim, se află în poziția mediană a tubului, citirea pe riglă se face cu precizie, datorită faptului că citirea se face perpendicular pe aceasta. Către capetele tubului, atât în partea de jos, cât și în partea de sus, citirea se face sub un unghi, ceea ce poate duce la apariția unor mici erori, fiind necesară o atenție suplimentară pentru reducerea acestora (Fig. III.12).

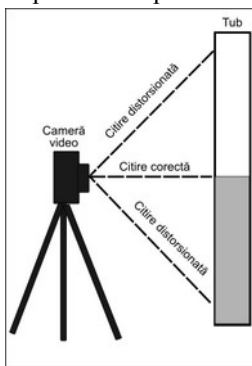


Fig. III.12. *Erori în procesul de citire datorate unghiului sub care se face înregistrarea experimentului (preluat și adaptat [42])*

În pofida acestor surse de erori, am obținut rezultate foarte apropiate de valorile teoretice ale vitezei sunetului în aer la temperatura de lucru respectivă. Aceasta reprezintă o confirmare a faptului că strategia și modul de lucru propus reprezintă o alternativă viabilă și validă de a adapta experimentul clasic la noile tehnologii. În plus, în condițiile studiului *on-line*, lucrarea de laborator este perfect adaptată.

III.4. Concluziile capitolului III

Am descris în acest capitol o metodă de a determina viteza sunetului în aer printr-o abordare simplă din punct de vedere tehnologic, care include dispozitive electronice uzuale, dar moderne, programe de analiză video și audio și de prelucrare a datelor gratuite și *open-source*. Metoda este bazată pe strategia de învățare prin investigație științifică. Această abordare prezintă avantaje semnificative care o validează (precizia sporită a măsurătorilor, posibilitatea de a relua etapele de lucru ori de câte ori este nevoie pentru a verifica rezultatele, utilizarea noilor tehnologii care crește calitatea procesului de culegere a datelor, multiple posibilități de analiză, dezvoltarea abilităților computaționale, costuri reduse, adaptabilitatea la condițiile învățării *on-line* etc.).

Metoda de lucru se poate implementa cu ușurință pentru studiul Acusticii atât la nivel universitar, cât și la nivelul elevilor de liceu, fiind vorba de noțiuni de bază ale domeniului. Este posibil ca laboratorul avut la dispoziție să nu aibă în dotare dispozitivul experimental necesar. În acest caz, profesorul poate efectua experimentul în alt laborator mai dotat, poate realiza fișierele video necesare și le poate pune la dispoziție elevilor pentru studiu și analiză. În felul acesta pot beneficia de o activitate experimentală la care nu ar avea acces decât cu costuri semnificative.

Activitatea experimentală propusă este adaptată la nevoile noii generații de elevi, implicând utilizarea noilor tehnologii în derularea experimentului, în culegerea datelor și prelucrarea acestora. Se atinge dezvoltarea competențelor pe mai multe planuri – cognitive, practice, analitice – fiind o activitate de învățare completă. Elevilor li se dezvoltă abilitățile tehnologice, gândirea critică, capacitatea de analiză, abordarea ușurând clarificarea noțiunilor teoretice și conectarea acestora cu fenomene fizice reale.

CAPITOLUL IV

HARTA CONCEPTUALĂ – INSTRUMENT DIDACTIC PENTRU STUDIUL MIȘCĂRILOR PERIODICE

IV.1. Harta conceptuală – instrument didactic în Fizică

Fizica este un domeniu de studiu structurat, care are la bază noțiuni interconectate într-o rețea vastă [143]. Un instrument didactic care poate fi foarte bine integrat în strategiile didactice este harta conceptuală. Acesta ajută la conceptualizarea, organizarea, ierarhizarea și conectarea conținuturilor specifice.

Harta conceptuală este o structură cognitivă organizată ierarhic care integrează noțiuni specifice unui domeniu de studiu, organizându-le într-o structură logică și punând în evidență legăturile între ele. Acest instrument didactic a fost dezvoltat de Novak și Gowin în anii 1970 și este în concordanță cu învățarea pertinentă, logică, bazată pe înțelegerea semnificației noțiunilor teoretice [144]. Harta conceptuală este, în fapt, un organizator grafic care conectează cunoștințele noi cu cele anterioare, arătând și modul individual în care aceste conexiuni sunt realizate. Este un instrument care permite vizualizarea informațiilor și organizarea acestora în structuri logice [145 – 149]. Factorul care favorizează învățarea este tocmai disponerea grafică a noțiunilor, prezentarea lor în structuri spațiale. De multe ori sunt evidențiate în acest fel conexiuni între termeni care sunt mai puțin evidente și altfel ar putea fi trecute cu vederea de către elevi.

Harta conceptuală este un instrument didactic util în toate etapele, predare – învățare – evaluare [150 – 152].

IV.2. Cmap Tools – program specific construirii hărților conceptuale

Am ales programul Cmap Tools deoarece prezintă unele avantaje față de alternative. Este un program gratuit, ceea ce permite și categoriilor defavorizate de elevi să îl acceseze. Poate fi folosit atât pe sistem de operare Linux, cât și Windows; există, de asemenea, și aplicație pentru Ipad în AppStore. Este un program din categoria sursă deschisă (*open-source*), deci este actualizat și îmbunătățit tot timpul.

Programul permite crearea unui context pentru fenomenul fizic studiat, accentuarea chestiunilor importante, punerea întrebărilor țintite, legături încrucișate, ierarhizări, dezvoltarea de propoziții [155]. Pentru a folosi programul Cmap Tools nu este nevoie decât de un minim de competențe de utilizare a calculatorului, acesta fiind foarte intuitiv și prietenos cu utilizatorul. Programul se poate utiliza atât *off-line*, cât și *on-line*, cele două variante fiind similare ca mod de utilizare [156].

Conectat cu diverse puncte de pe harta conceptuală, se pot adăuga diverse legături către resurse. Aceste resurse pot fi de multe tipuri – fișiere text, video, animații, simulări, imagini etc., dar și alte hărți conceptuale, *link*-uri către resurse online. Fișierele pot fi încărcate din propriul calculator, dar și din *cloud*-ul oferit de program.

IV.3. Hartă conceptuală pentru introducerea noțiunilor specifice mișcării circulare uniforme [119]

Unitatea de învățare "Mișcarea circulară uniformă" din programa de Fizică pentru clasa a 9-a introduce un număr mare de noțiuni noi.

Pentru a face mai ușor de înțeles logica acestor noțiuni noi, care constituie de fapt limbajul necesar studierii acestui tip de mișcare, am construit o hartă conceptuală care să ilustreze legăturile dintre concepte și să ușureze înțelegerea și învățarea lor (Fig. IV.5). Pentru a construi harta am folosit programul Cmap Tools.

Harta pornește de la noțiunea centrală – Mișcarea circulară uniformă – de unde se reliefează patru ramuri principale: caracteristici generale ale mișcării descrise calitativ, elemente de periodicitate, noțiuni de cinematica mișcării circulare uniforme, forțe care intervin în această mișcare. Noțiunile sunt interconectate între ele, chiar și cele din ramuri diferite, formând în felul acesta o rețea. Se pot vedea atât definiții, cât și formule, unități de măsură, exemple.

Pentru a exemplifica și a susține noțiunile și relațiile introduse, am introdus diverse resurse originale, realizate special pentru acest proiect. Acestea sunt imagini, animații, experimente filmate.

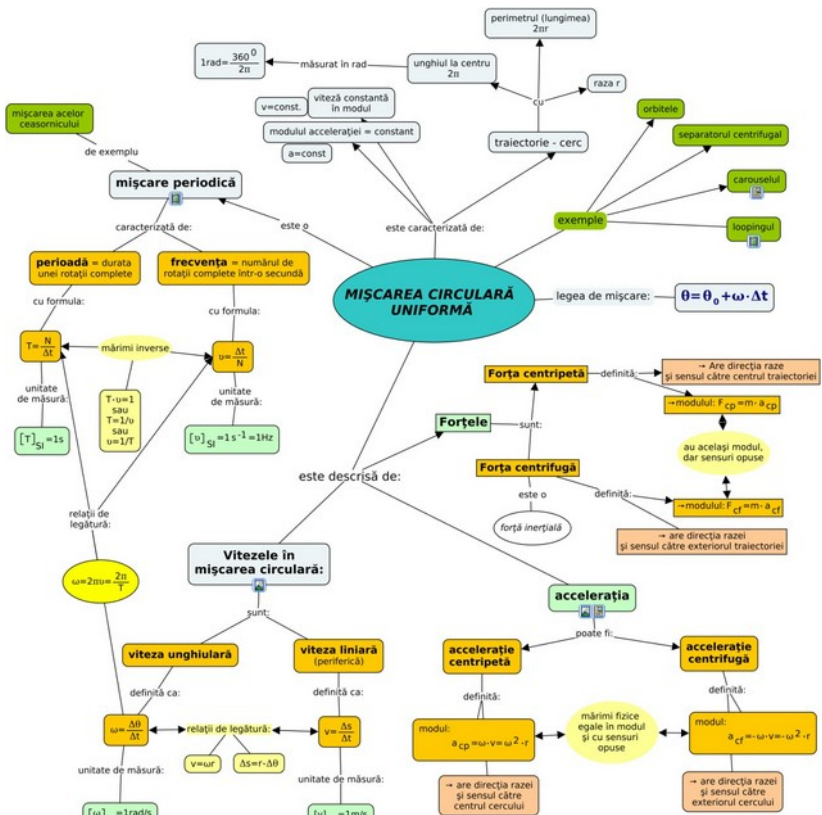


Fig. IV.5. Harta conceptuală a mișcării circulare uniforme – vedere generală (preluat și adaptat [119])

În prima ramură care derivă din titlul principal, am introdus câteva explicații calitative despre mișcarea circulară uniformă (Fig. IV.6). Plecând de la exemplele din casele evidențiate cu verde, elevii sunt puși în situația de a descoperi caracteristicile calitative ale mișcării și vor încerca să o descrie. Astfel, vor deduce definiția mișcării circulare uniforme ca fiind o mișcare pe o traiectorie în formă de cerc cu viteză și accelerație constante în modul, vor observa caracteristicile geometrice ale traiectoriei etc.

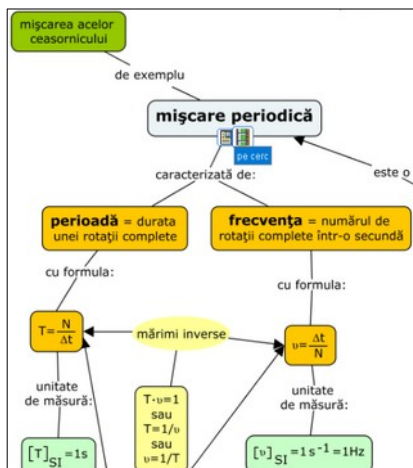


Fig. IV.9. Detaliu – ramura care descrie periodicitatea mișcării

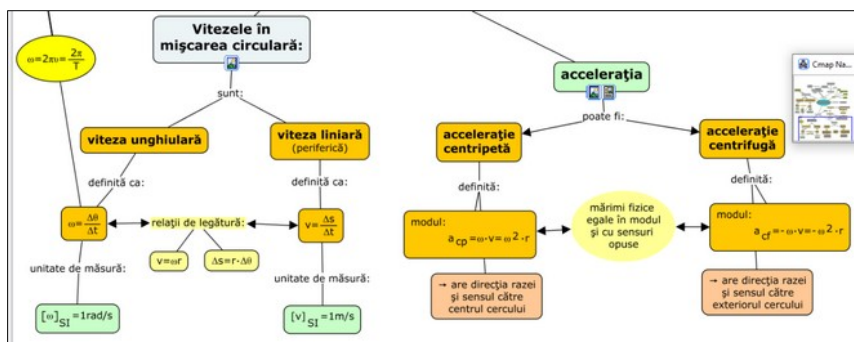


Fig. IV.10. Detaliu – ramura care introduce noțiunile de cinematică – viteze și accelerații

Ultima ramură a hărții conceptuale (Fig. IV.12) definește forțele care intervin în mișcarea circulară uniformă – forța centripetă și forța centrifugă – precum și legăturile dintre acestea.

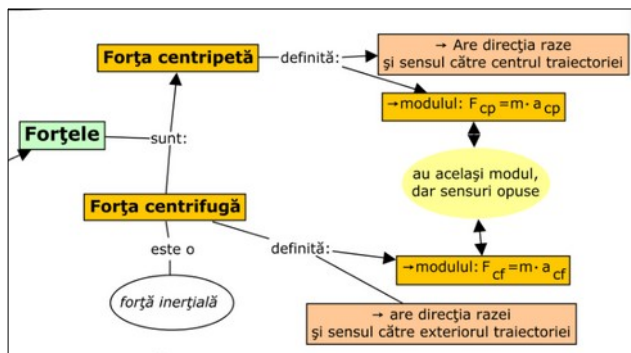


Fig. IV.12. Detaliu – ramura care prezintă forțele ce intervin în mișcarea circulară uniformă

Pentru a pune în evidență mișcarea circulară, am luat în considerare mișcări întâlnite în viața de zi cu zi de către elevi. Pentru că nu întotdeauna aceste dispozitive pot fi aduse în clasă am ales varianta experimentelor filmate și analizate cu ajutorul programului Tracker (<https://physlets.org/tracker/>), descris în capitolul II. Astfel, am pus în evidență mișcarea dispozitivelor alese, iar programul de analiză video a permis măsurarea a 24 de mărimi caracteristice, precum și construirea graficelor mărimilor de interes la nivelul clasei a 9-a. În felul acesta, elevii pot vizualiza simultan mișcarea, lista datelor culese și modul în care evoluează grafic aceste mărimi, ceea ce duce la o bună înțelegere a unui experiment științific, a culegerii datelor experimentale și a interpretării acestora.

Pentru primul experiment am ales rotația platanului unui pickup. Programul redă mișcarea cu încetinitorul, ușurând observațiile directe. În Fig. IV.13. se poate vedea o captură de ecran din timpul analizei video cu programul Tracker. Sistemul de axe de coordonate a fost fixat în centrul de rotație. Mărimile determinate au fost coordonata x, modulul vectorului de poziție și unghiul la centru. Graficele din figură scot în evidență periodicitatea mișcării. Fiind vorba de un dispozitiv acționat de un motor electric, mișcarea acestuia derulându-se cu viteză constantă, periodicitatea mișcării este foarte clar pusă în evidență.

Al doilea experiment filmat și analizat video se referă la mișcarea elicei unui elicopter de jucărie (Fig. IV.14). Elicea a fost pusă în mișcare cu ajutorul curentului de aer produs de un uscător de păr. Pe elice am fixat marcaje colorate la diferite distanțe față de centrul de rotație pentru a fi pusă în evidență dependența vitezei liniare de raza traiectoriei. Originea sistemului de axe de

coordonate a fost fixată pe axul elicei. Am analizat valorile măsurate și graficele pentru viteza unghiulară, viteza liniară și accelerație pentru fiecare punct.

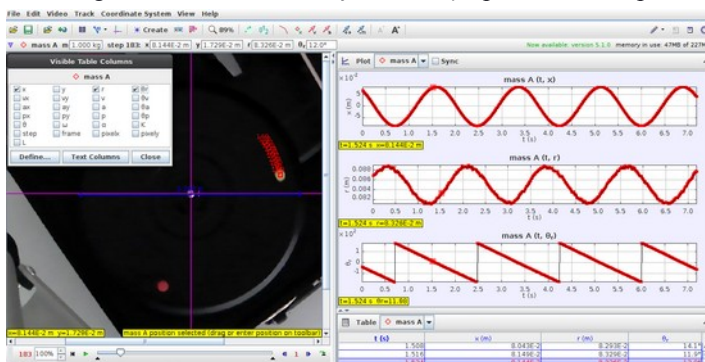


Fig. IV.13. Mișcarea de rotație a platanului unui pickup analizată cu programul Tracker [119]

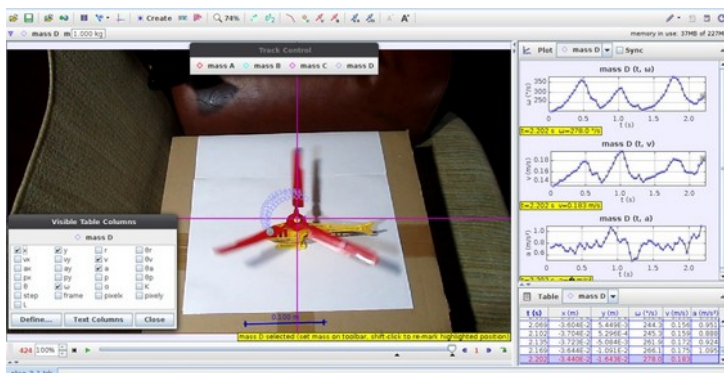


Fig. IV.14. Mișcarea elicei unui elicopter de jucărie analizată cu programul Tracker [119]

Fiind vorba de o mișcare reală, a unui dispozitiv nu foarte sofisticat, se observă că modelul mișcării circulare uniforme nu mai este aplicat: viteza unghiulară are variații între 0-350 %/s, viteza liniară între 0.14 - 0.2 m/s, iar accelerația între 0.5 - 1.1 m/s². Nici periodicitatea nu mai este la fel de evidentă ca în cazul mișcării platanului de pickup. Analizând aceste variații mici, dar sesizabile, se poate pune în evidență diferența dintre modelul fizic studiat și mișcarea reală.

Al treilea experiment filmat pe care îl propun spre analiză este mișcarea de rotație a roții unei biciclete (Fig. IV.15). Aceasta este acționată manual, iar filmele sunt destul de lungi pentru a putea permite identificarea unei secvențe în care mișcarea roții să fie cât mai constantă. Din graficele rezultate se constată că există perioade foarte scurte de timp în care mișcarea prezintă variații neglijabile ale vitezei unghiulare, vitezei liniare și accelerației. Oricât de regulat ar fi pedalatul, este practic imposibil să obținem o mișcare perfect uniformă prin acțiune umană.

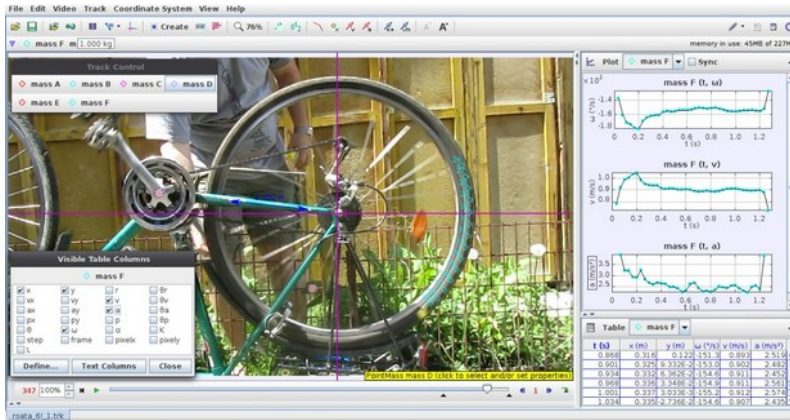


Fig. IV.15. Mișcarea roții unei biciclete analizată cu ajutorul programului Tracker [119]

În urma celor trei experimente propuse și analizate folosind programul Tracker, am pus în evidență proprietățile mișcării circulare uniforme, dar am și scos în evidență diferențele dintre modelul mișcării circulare uniforme și mișcarea circulară reală a diferitelor mecanisme, diferențele dintre mecanismele acționate de un motor și cele acționate de alte sisteme precum un curent de aer, respectiv acționarea manuală. Concluzia firească pe care elevii ar trebui să o tragă este că, doar cu ajutorul unui motor putem să ne apropiem de obținerea unei mișcări circulare uniforme. De asemenea, am observat că, prin introducerea unor experimente care pot fi reproduse cu ușurință acasă, elevii au devenit mai interesați de descoperirea substratului științific al acestor fenomene aparent banale, prin faptul că pot fi observate foarte des în viața de zi cu zi.

Prin includerea unor astfel de experimente filmate și analizate video într-o hartă conceptuală se poate pune în evidență fenomenul, făcându-se mai ușor

corelarea dintre noțiunile teoretice și viața reală. Acest lucru este facilitat și de alegerea unor dispozitive uzuale, nu doar a celor din trusa de laborator.

IV.4. Mișcarea oscilatorie armonică prezentată folosind o hartă conceptuală interactivă [122]

În clasa a 11-a, elevii iau contact cu mișcarea oscilatorie. Aceasta presupune asimilarea unui set complex de noțiuni noi, integrarea lor printre cele anterioare și aplicarea acestora în domeniul respectiv. Pentru a eficientiza acest proces, am integrat în procesul de predare – învățare – evaluare instrumente specifice noilor tehnologii bazate pe utilizarea unor programe de calculator gratuite, accesibile atât elevilor, cât și profesorilor.

Principalele programe folosite au fost în principal Cmap Tools (<https://cmap.ihmc.us/>) și Tracker (<https://physlets.org/tracker/>), combinate cu alte programe auxiliare ca GeoGebra (<https://www.geogebra.org/>) sau Inkscape (<https://inkscape.org/>) folosite pentru realizarea simulărilor explicative și editarea imaginilor. Cu ajutorul programului de analiză video Tracker – descris în Capitolul II – am realizat activitățile experimentale, iar cu ajutorul programului Cmap Tools am realizat materialul suport care ilustrează conexiunile logice între mărimile fizice specifice oscilațiilor mecanice și ușurează conectarea teoriei cu partea experimentală.

Harta conceptuală pe care am construit-o (Fig. IV.16) introduce mărimile specifice oscilațiilor armonice pornind de la elementele de bază specifice nivelului de pregătire al unui elev de liceu de la cele mai simple, până la cele mai complexe. Pot fi identificate trei regiuni principale ale hărții: partea introductivă unde este definită mișcarea, este prezentat caracterul periodic al acesteia și exemple; regiunea care cuprinde mărimile caracteristice mișcării oscilatorii armonice; regiunea unde se introduc oscilatorul liniar armonic, cu cazurile specifice – pendulul elastic și pendulul gravitațional.

În prima parte, ramura noțiunilor introductive, se găsește definirea calitativă a mișcării. Aici apare un link către o hartă conceptuală care descrie caracterul periodic al mișcării și mărimile caracteristice (Fig. IV.17).

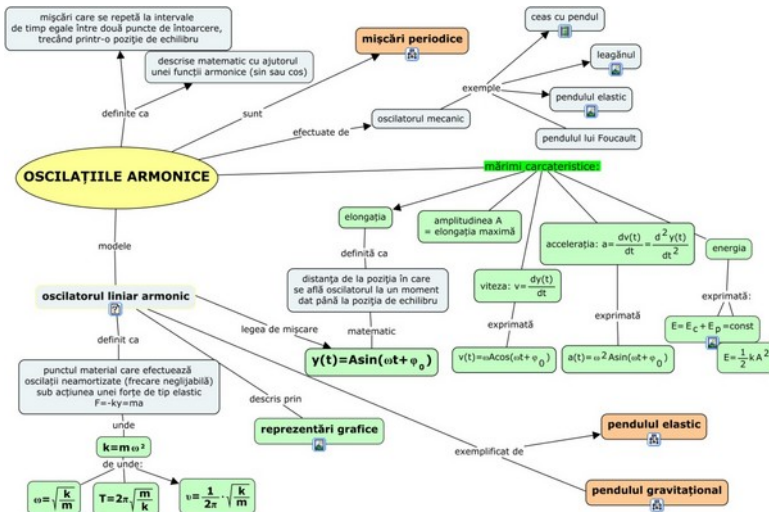


Fig. IV.16. Harta conceptuală a mișcării oscilatorii armonice, pagina principală – vedere generală (preluat și adaptat [122])

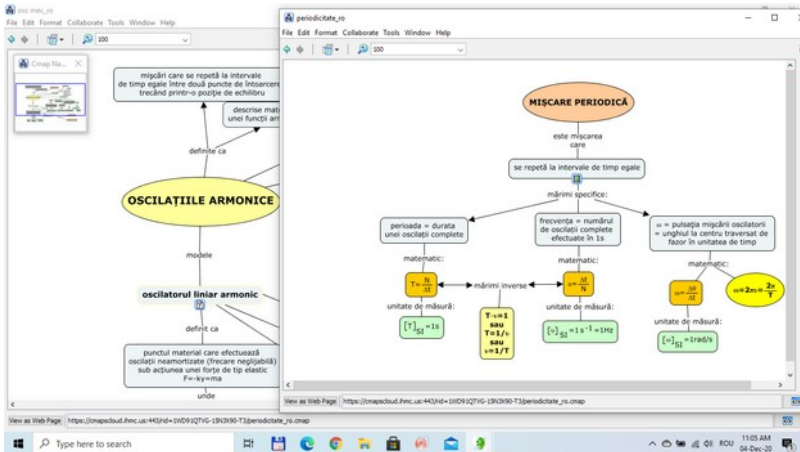


Fig. IV.17. Harta conceptuală – elemente de periodicitate (preluat și adaptat [122])

Exemplele enumerate în secțiunea introductivă a hărții conceptuale sunt prevăzute cu linkuri de legătură către fișiere video care pun în evidență mișcările oscilatorii menționate (Fig. IV.18).

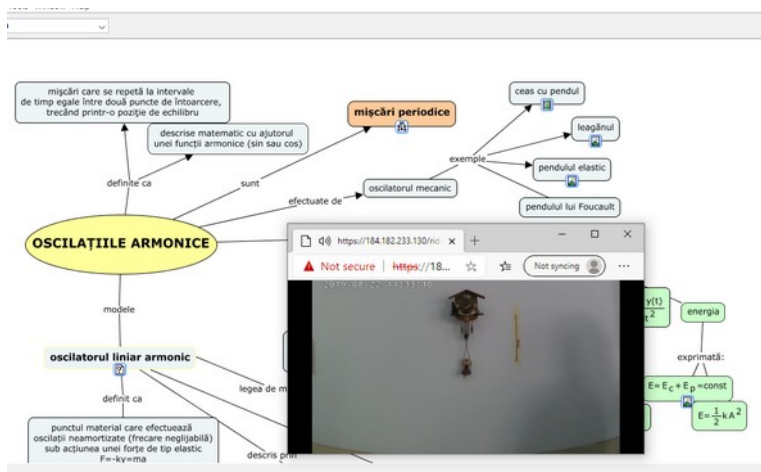


Fig. IV.18. Exemplu filmat de mișcare oscilatorie [122]

A doua ramură majoră a hărții conceptuale este cea care conține mărimile caracteristice – elongație, viteză, accelerație. Aici am introdus definițiile calitative, funcțiile care le definesc, proprietățile etc. Fiind vorba de mărimi variabile în timp, ele pot fi dificil de înțeles de către elevi, așa că am apelat la reprezentarea fazorială a mărimilor specifice cinematicii mișcării oscilatorii. Pentru a putea vizualiza comportarea în timp a fazorilor, am introdus reprezentarea grafică (Fig. IV.19). Tot această ramură introduce și energiile mecanice – cinetică și potențială – precum și legea de conservare a acestora pentru oscilatorul armonic ideal.

Cazurile particulare de mișcări oscilatorii armonice le-am introdus ca hărți conceptuale separate, conectate cu harta principală. Astfel, am prezentat cazul pendulului elastic cu descriere, definiție și mărimi caracteristice, încadrându-l în contextul general (Fig. IV.20). Altă hartă conceptuală conectată cu prima este cea care introduce noțiunile legate de pendulul gravitațional (Fig. IV.21).

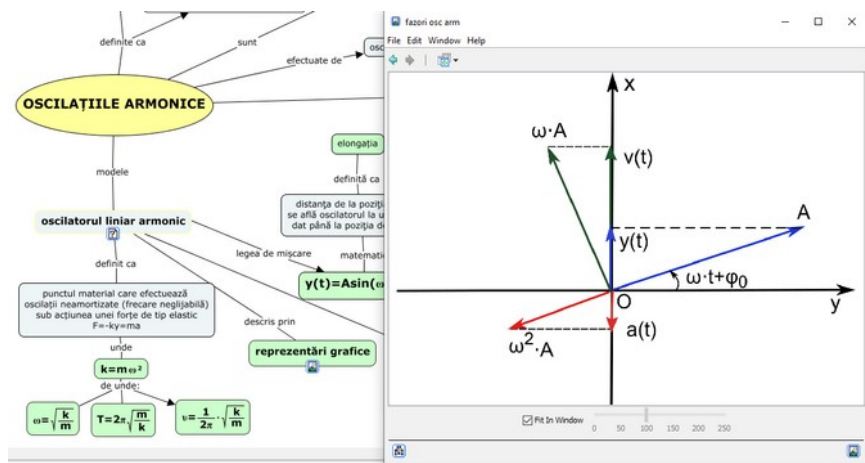


Fig. IV.19. Reprezentarea fazorială a mărimilor specifice mișcării oscilatorii armonice [122]

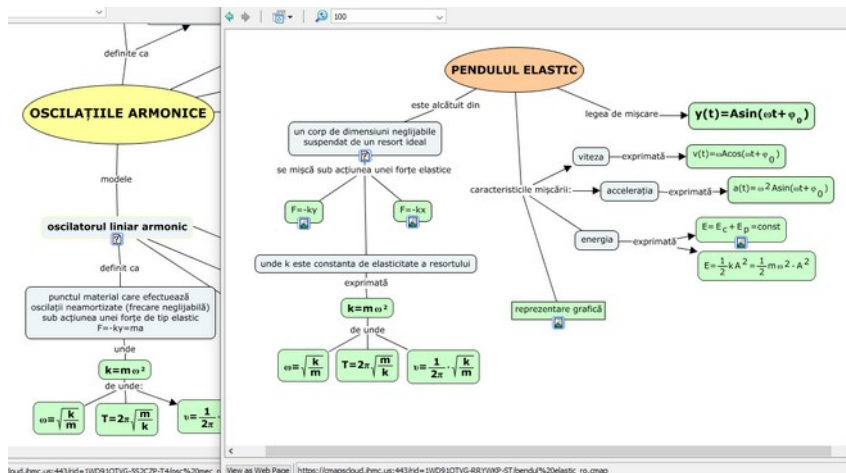


Fig. IV.20. Pendulul elastic – hartă conceptuală (preluat și adaptat [122])

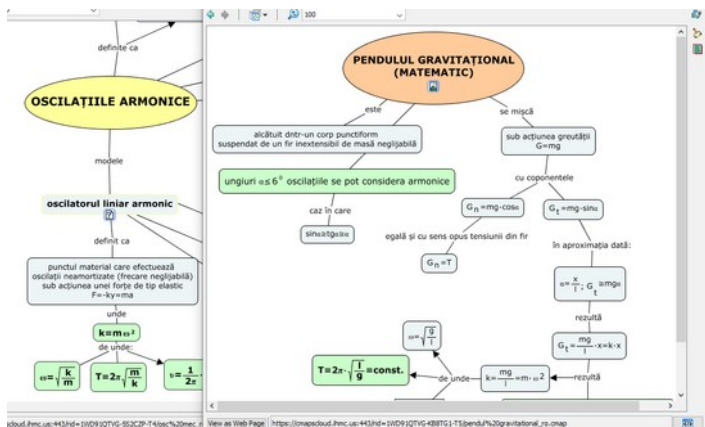


Fig. IV.21. Pendulul gravitațional – hartă conceptuală (preluat și adaptată [122])

Pentru a pune în evidență similaritatea dintre mișcarea circulară uniformă și mișcarea unui oscilator armonic, în cazul de față pendulul elastic, am construit o simulare folosind programul GeoGebra (Fig. IV.22). Aceasta pune în paralel cele două mișcări [158]. Simularea este utilă vizualizării comparative a celor două mișcări și înțelegerea conexiunilor dintre ele.

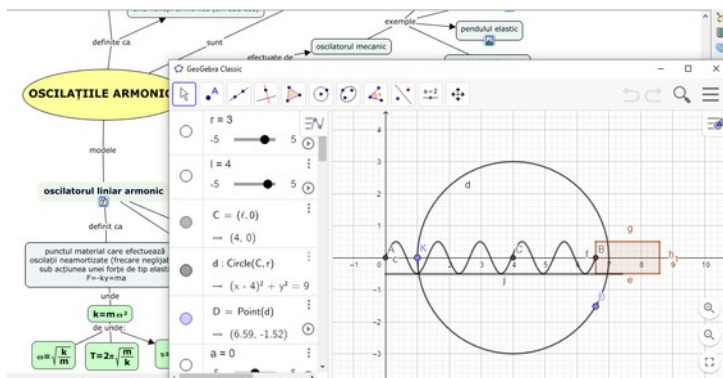


Fig. IV.22. Simulare realizată cu GeoGebra care pune în evidență conexiunile dintre mișcarea circulară uniformă și mișcarea oscilatorului elastic (preluată și adaptată [122])

Pentru a pune în evidență legătura dintre fenomenele fizice reale și cele realizate cu ajutorul truselor de laborator, am ales varianta analizei video a două experimente filmate.

Primul dintre acestea a fost mișcarea pendulului elastic care reglează mișcarea unui ceas mecanic. Pentru aceasta, am fixat un punct pe pendul, apoi am filmat mișcarea acestuia cu o cameră video cu 30 fps (cadre pe secundă). Filmul a fost încărcat în programul Tracker. Automat, programul trasează graficele mărimilor fizice respective (Fig. IV.23). Avem posibilitatea să vizualizăm mișcarea și să urmărim evoluția pe parcursul mișcării a numeroase mărimi care ne pot interesa – vectorul de poziție, coordonate, viteza și componentele ei, accelerația și componentele ei, pulsația, energia etc.

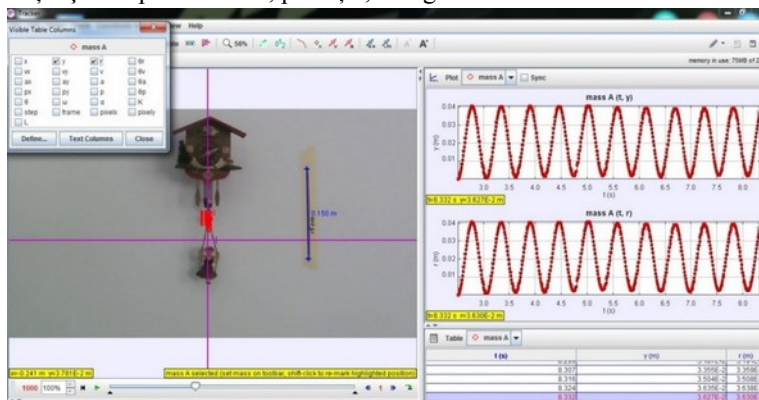


Fig. IV.23. Programul Tracker folosit pentru analiza video a mișcării unui pendul elastic real [122]

O a doua mișcare studiată similar este mișcarea unui pendul gravitațional. Pentru aceasta, am folosit o bilă de hematit suspendată de un fir inextensibil (Fig. IV.24). Pendulul a fost deviat la unghiuri mai mici de 5° . Mărimile urmărite cu ajutorul programului Tracker pun în evidență periodicitatea mișcării, permițând evidențierea faptului că, pentru deviații mici de la poziția de echilibru, mișcarea poate fi considerată armonică.

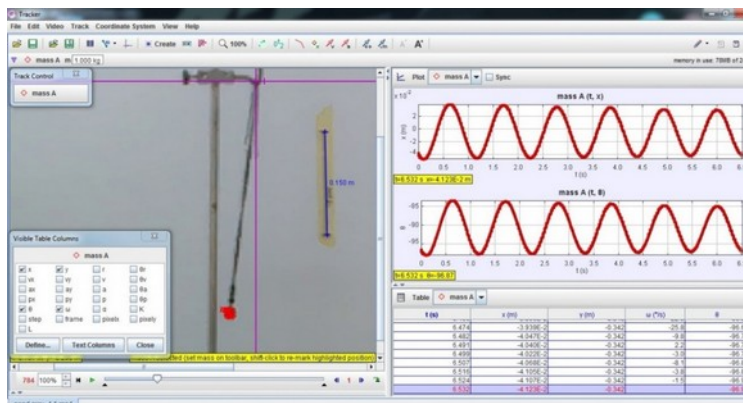


Fig. IV.24. Programul Tracker folosit pentru analiza video a mișcării unui pendul gravitațional real [122]

În cazul ambelor experimente, se poate alege setul de mărimi de măsurat, de studiat, de reprezentat grafic în funcție de scopul pe care l-am stabilit. În cazul de față, am ales mărimi care să pună în evidență periodicitatea mișcării, dar și care să permită vizualizarea funcțiilor armonice care determină variația în timp a elongației (legea de mișcare), vitezei și accelerației. Se poate evidenția și dependența forței de elongație, lucru binevenit pentru că, la nivel de liceu, elevii sunt obișnuiți mai degrabă cu forțe constante în timp, iar forțele variabile le ridică dificultăți de înțelegere.

Analiza video a mișcărilor ajută elevii să identifice caracteristicile mișcării studiate, să determine sau să verifice relațiile dintre mărimi. Construirea imediată a graficelor odată cu determinarea valorilor unor mărimi este un instrument util de vizualizare care ajută mult la învățare.

Un lucru care contribuie la o mai bună înțelegere a fenomenului este folosirea unor dispozitive simple (chiar *low tech*), care pot fi replicate de elevi chiar și acasă. În acest fel, elevii pot vedea că Fizica studiată în clasă nu este ruptă de realitate, ci dimpotrivă

Experimentele video au fost incluse ca resurse în harta conceptuală, conectate celor două tipuri de pendule – elastic și gravitațional.

IV.5. Harta conceptuală – instrument didactic pentru învățarea prin investigație a elementelor de seismologie [154]

Studiul Fizicii devine mai atractiv pentru elevi atunci când aceștia sunt puși în situația de a studia fenomene naturale cu impact major în viața de zi cu zi, cum ar fi cutremurele. Mișcările seismice ale Pământului sunt hazarduri naturale [159, 160], prea puțin studiate în învățământul preuniversitar, fiind un domeniu puțin cunoscut publicului larg, astfel oamenii fiind expuși informațiilor false și nefundamentate științific care se pot întâlni în mass media.

În acest sens, am construit aplicații ca mijloace educaționale pentru studiul elementelor de bază de Seismologie folosind GeoGebra [161, 162], aplicații integrate în strategia învățării prin investigație. Aplicațiile sunt ușor de accesat de toate categoriile de elevi deoarece programul GeoGebra are avantajul că este gratuit și că poate rula în toate sistemele de operare și pe orice categorie de dispozitiv.

În continuare, voi prezenta o modalitate de a studia noțiunile elementare de seismologie la nivel de liceu folosind investigația științifică. Instrumentul didactic principal folosit este harta conceptuală, dar se utilizează și alte aplicații, simulări și animații realizate folosind programe gratuite și open-source. Modul de studiu prezentat este gândit astfel încât să fie aplicabil atât la orele de curs *face-to-face*, cât și în cele *online*.

IV.5.1. Harta conceptuală a elementelor fundamentale de seismologie [154]

Ca aplicație directă a undelor mecanice, undele seismice reprezintă un domeniu de interes pentru elevi, fiind legate de fenomene naturale cu impact major în viața lor, mai ales pentru cei care trăiesc în zone cu activitate seismică ridicată. Utilizarea hărților conceptuale este foarte potrivită în studiul acestui domeniu deoarece noțiunile introduse sunt strâns interconectate și foarte variate, instrumentul folosit permițând ordonarea logică a acestora și evidențierea clară a conexiunilor. În plus, este potrivită pentru o învățare prin metoda investigației științifice, elevii având posibilitatea să exploreze noțiunile prezentate în ritm propriu și să descopere informațiile furnizate sub supravegherea profesorului, care are rol de facilitator al învățării

Instrumentul de lucru proiectat este alcătuit dintr-o hartă conceptuală principală (Fig. IV.25) care are prevăzute legături către alte trei hărți conceptuale

secundare ce vin să detalieze aspecte specifice, precum și către materiale resursă ce ilustrează și exemplifică aspecte specifice fenomenelor seismice.

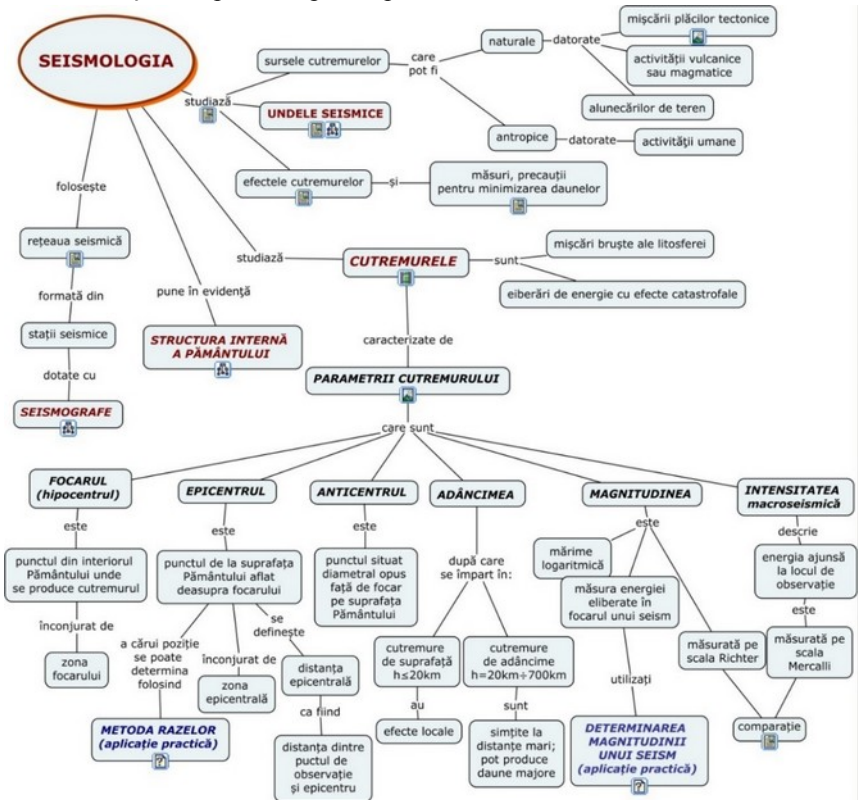


Fig. IV.25. Harta conceptuală de deschidere a studiului elementelor de bază de Seismologie folosind metoda investigației științifice (preluat și adaptat [154])

Harta principală pornește de la noțiunea din titlu "Seismologie" și, pentru început, definește termenii: arată ce anume se studiază în acest domeniu, ce instrumente se folosesc și care este necesitatea studierii acestuia. După cum este evident, subiectul principal de studiat îl reprezintă cutremurele, iar pentru acestea se definesc parametrii caracteristici – focarul, epicentrul, anticentrul, adâncimea, magnitudinea, intensitatea macroseismică - adăugând o scurtă descriere pentru fiecare.

Pentru parametrii cei mai cunoscuți publicului larg, respectiv, poziția epicentrului și magnitudinea, sunt atașate legături către două aplicații practice construite folosind programul GeoGebra: ”Metoda razelor de determinare a coordonatelor epicentrului unui cutremur” [161] și ”Determinarea magnitudinii unui cutremur” [162], aplicații ce permit elevilor să exerseze rolul unui seismolog și să determine parametrii respectivi. Pentru a înțelege mai ușor care este diferența între magnitudine și intensitate macroseismică, am realizat o animație folosind tehnica *Witheboard Animation*. Prin aceeași tehnică, am realizat o altă animație care prezintă măsurile ce trebuie luate înainte, după și în timpul producerii unui cutremur pentru a reduce riscurile. Un alt material video atașat arată modul în care undele seismice se propagă prin interiorul Pământului, de la focar până la locul în care acesta este perceput.

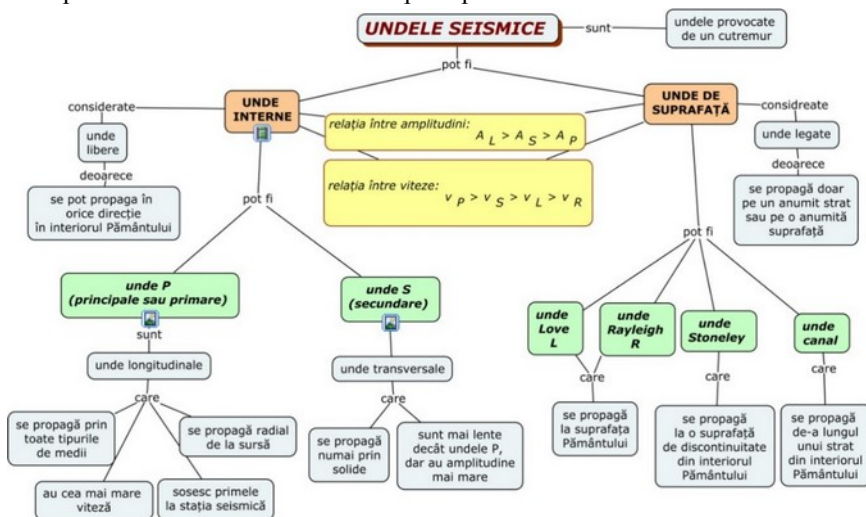


Fig. IV.26. Harta conceptuală care explică undele seismice (preluat și adaptat [154])

Undele seismice reprezintă o noțiune cheie a domeniului, cu destul de multe detalii de clarificat, așa că am ales să dezvolt subiectul într-o hartă conceptuală secundară, conectată cu cea principală (Fig. IV.26). Aceasta oferă informații despre tipurile de unde seismice și ce le caracterizează pe fiecare, precum și relațiile de legătură între caracteristicile diferitelor tipuri de unde seismice, viteză și amplitudine, putând face comparații între modul în care

acestea se manifestă. De asemenea, am precizat modul și tipurile de medii în care acestea se propagă. Pentru vizualizarea mai clară a modului de propagare a undelor seismice, am creat reprezentări vizuale folosind programul gratuit și *open-source*, Inkscape. Acestea pot fi accesate folosind link-uri atașate noțiunilor respective.

O altă hartă conceptuală secundară este cea care oferă informații despre seismografe (Fig. IV.27), principalele instrumente necesare înregistrării mișcărilor seismice. Aici sunt evidențiate tipurile de seismografe, componentele lor și modul în care acestea se plasează într-o stație seismică.

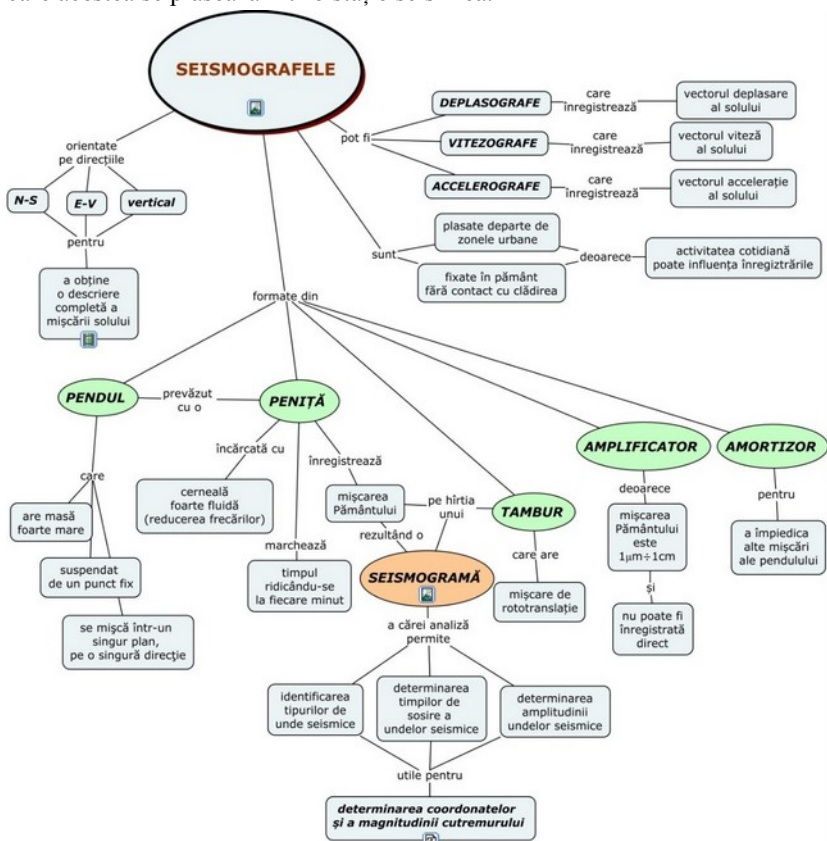


Fig. IV.27. Harta conceptuală care oferă informații despre seismografe (preluat și adaptat [154])

Seismogramele permit identificarea tipurilor de unde seismice, determinarea momentelor în care acestea sosesc la stația seismică respectivă și a amplitudinii acestora, informații utile determinării poziției epicentrului, adâncimii focarului și a magnitudinii cutremurului.

Nu în ultimul rând, din pagina principală avem o legătură către harta conceptuală care ilustrează structura internă a Pământului, așa cum a fost ea determinată studiind modul de propagare a undelor seismice (Fig. IV.28). Această structură este cunoscută elevilor de la Geografie, dar nu li se explică modul în care a fost determinată. Se poate folosi oportunitatea de a explica faptul că, deși nimeni nu a putut călători în interiorul Pământului pentru a face prospecțiuni, fizicienii au putut deduce modul în care este structurat interiorul Pământului din analiza modului de propagare a undelor seismice. Și aici am introdus link-uri către materiale vizuale care să ilustreze cele prezentate.

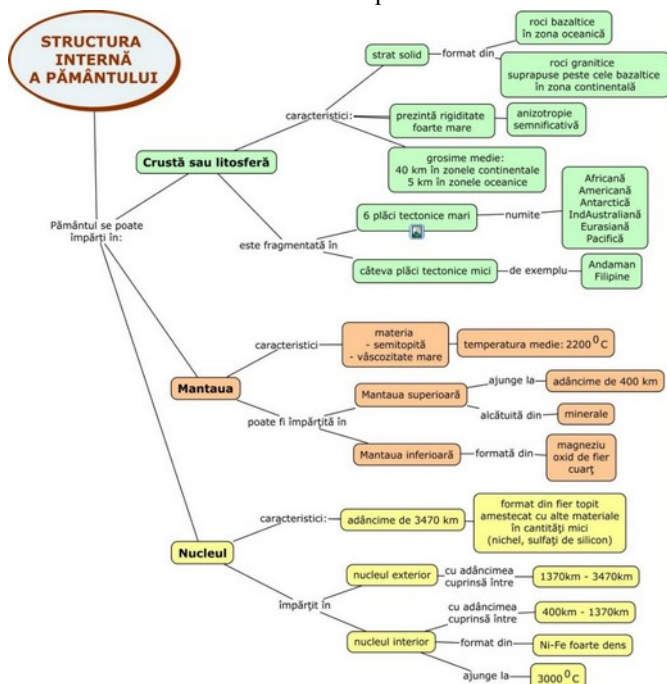


Fig. IV.28. Harta conceptuală care prezintă structura internă a Pământului (preluat și adaptat [154])

Pe fiecare dintre aceste hărți conceptuale, atât pe cea principală, cât și pe cele secundare, se găsesc legături către diferite materiale care sunt de ajutor descoperirii informațiilor și clarificării noțiunilor prezentate. Aceste resurse sunt de mai multe tipuri, majoritatea fiind materiale originale, create de autori, dar și materiale consacrate preluate și prelucrate din literatura de specialitate sau *link-uri* spre materiale de pe *site-urile* instituțiilor de profil, către *site-uri* educaționale din domeniu, către *site-ul* Institutului Național pentru Fizica Pământului. Aceste *site-uri* de specialitate ajută elevii să se documenteze folosind surse de încredere care oferă informații fundamentate științific. În acest fel, se formează deprinderi de utilizare a surselor online și de verificare a informațiilor utile în dezvoltarea personală

IV.5.2. Determinarea coordonatelor unui cutremur folosind metoda razelor [161]

Folosind programul GeoGebra am creat o aplicație care permite determinarea coordonatelor epicentrului unui cutremur prin metoda razelor. Aplicația poate fi folosită ca instrument didactic în activitățile bazate pe investigația științifică, folosind instrumente IT pentru a studia elemente de bază din seismologie. Metoda propusă se poate aplica la Fizică, la nivelul claselor a 11-a, ca aplicație în cadrul studiului capitolului "Unde mecanice". De asemenea se poate aplica la diverse cursuri opționale sau activități extracurriculare.

Metoda razelor pornește de la studiul seismogramelor provenite de la cel puțin trei stații seismice. Având la dispoziție seismogramele și o hartă a regiunii se pot determina informații importante legate de un eveniment seismic: poziția epicentrului [161], magnitudine [162] etc.. Informațiile acestea au la bază câteva determinări cheie cum ar fi timpii de sosire a undelor seismice P (principală) și S (secundară) la stațiile respective precum și amplitudinea undelor S. Pentru a putea fi folosită în scop educațional la nivelul elevilor de liceu, o seismogramă reală trebuie simplificată. După cum se vede în Fig. IV.29.b., seismograma reală este complexă și necesită pregătire de specialitate pentru a putea fi citită și interpretată. În scop educațional, am realizat seismograme simplificate pornind de la cele reale (Fig. IV.29.a.) pentru a veni în sprijinul elevilor, ușurând citirea acestora și implicit procesul de înțelegere a fenomenelor studiate. Ca exemplu, am folosit o seismogramă preluată de pe *site-ul* Institutului Național de Fizica Pământului din România, accesat la 20 decembrie 2018, unde

astfel de înregistrări sunt publice și utilizarea lor în scop educațional este liberă [163].

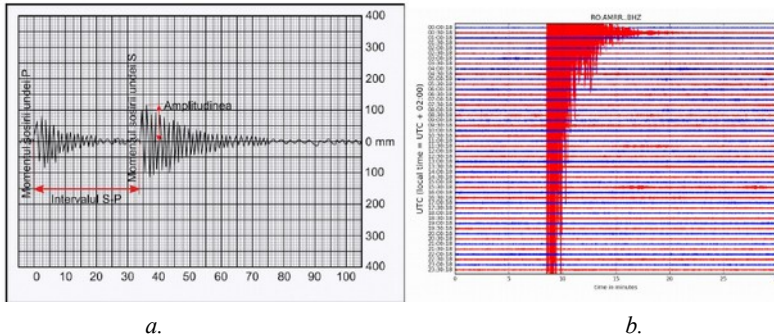


Fig. IV.29. *a. Model didactic de seismogramă unde sunt identificate principalele informații; b. Seismogramă reală înregistrată la stația seismică Amara (AMRR) pentru cutremurul din 28 octombrie 2018 (preluat și adaptat [161])*

Pe fiecare seismogramă folosită în investigație se pot identifica undele P și S. Undele P sunt înregistrate primele, având cea mai mare viteză de propagare. Undele S sosesc la scurt timp și pot fi recunoscute cu ușurință deoarece au amplitudine semnificativ mai mare decât a undelor P. Apoi sosesc și alte unde seismice de suprafață care nu dau informații necesare determinării poziției epicentrului, dar sunt interesante de studiat calitativ. Folosind înregistrările, se determină momentele în care sosesc undele P și S. Pentru a avea rezultate suficient de riguroase, sunt necesare seismograme înregistrate la cel puțin trei stații seismice. Un număr mai mare de înregistrări duce la creșterea preciziei.

Distanța epicentrală este direct proporțională cu intervalul de timp dintre sosirea celor două unde S și P la stația seismică. Pentru a determina distanța epicentrală se poate utiliza reprezentarea grafică a distanței epicentrale în funcție de intervalul de timp dintre sosirea celor două unde. Elevilor li se pune la dispoziție în aplicație un astfel de grafic care ilustrează dependența liniară dintre cele două mărimi (Fig. IV.30), grafic pe care l-am construit folosind datele furnizate de site-ul Institutului Național de Fizica Pământului [164]. Folosind graficul din Fig. IV.30 elevii pot identifica valorile necesare.

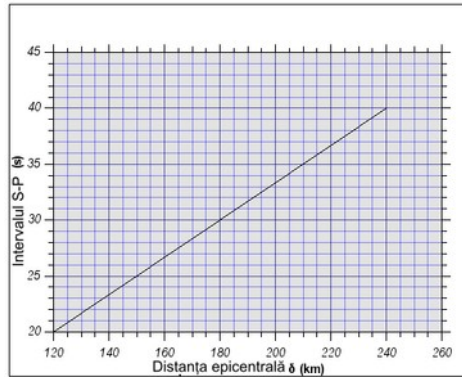


Fig. IV.30. Model de grafic care reprezintă dependența liniară a distanței epicentrale de intervalul de timp dintre sosirile undelor P și S la stația seismică (preluat și adaptat [161])

Odată determinate distanțele epicentrale, pentru cel puțin trei stații seismice, se poate trece la determinarea poziției epicentrului cutremurului. Pentru aceasta este nevoie de o hartă a regiunii și de un compas. Se trasează pentru fiecare stație seismică un cerc cu centrul în punctul de pe hartă unde se găsește stația respectivă și cu raza egală cu distanța epicentrală determinată, luată la scara hărții avute la dispoziție. Cercurile reprezintă fronturile undelor seismice, numite izoseiste. Dacă se iau în calcul trei stații seismice, se vor obține trei cercuri care se vor intersecta într-un punct (Fig. IV.31) dacă determinările sunt de maximă precizie.

Pentru a reduce cât mai mult erorile de determinare, am creat o aplicație în programul GeoGebra care folosește seismograme didactice, simplificate, dar care respectă caracteristicile seismogramelor reale. Seismogramele au fost prelucrate astfel încât să permită identificarea mai clară a momentelor de înregistrare a sosirii undelor P și S la stația seismică. Folosirea programului GeoGebra, program destinat matematicii în general, cu multe posibilități de utilizare în geometrie, permite reducerea erorilor datorate trasării cercurilor corespunzătoare izoseistelor. Programul construiește cercurile respective cu datele furnizate cu mare precizie, iar intersecția acestora chiar este un punct, identificând cu certitudine poziția epicentrului (Fig. IV.31), mult mai exact decât cu ajutorul desenului cu compasul pe hârtie.

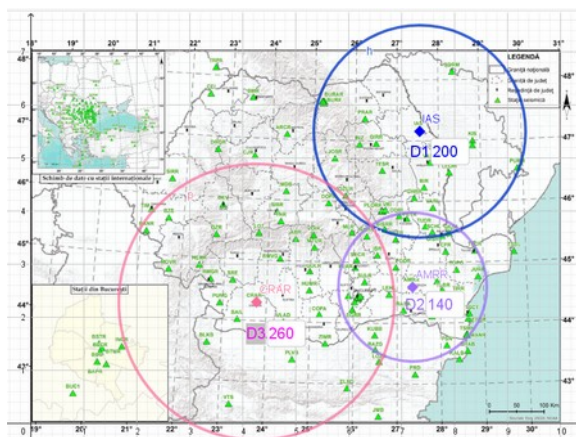


Fig. IV.31. Izoseiste pentru cutremurul studiat; intersecția cercurilor reprezintă poziția epicentrului cutremurului [161]

Metoda razelor de determinare a poziției epicentrului unui cutremur este o metodă ușor de înțeles de elevii de liceu, fără să implice calcule matematice complicate. În urma acestei activități de investigație, elevii pot înțelege mai bine modul în care se determină cel puțin una dintre caracteristicile unui seism, și anume poziția epicentrului. În felul acesta ei pot identifica singuri zonele cu activitate seismică intensă din regiunea unde trăiesc.

IV.5.3. Aplicarea metodei razelor pentru determinarea coordonatelor epicentrului unui cutremur folosind GeoGebra [161]

Pentru a putea reduce erorile menționate anterior, am construit o aplicație folosind programul GeoGebra cu ajutorul căreia elevii pot determina coordonatele epicentrului unui cutremur. Aplicația face parte dintr-un proiect de investigație științifică cu ajutorul căruia elevii să învețe noțiunile fundamentale de seismologie. Introducerea tehnologiilor moderne, a programelor de calculator și aplicațiilor în procesul de învățare reprezintă o adaptare la nevoile generațiilor actuale de elevi și face procesul să devină mai atractiv, învățarea devenind astfel mai eficientă.

În construcția aplicației, am urmat următoarele etape. Pentru început am stabilit fundalul paginii principale a aplicației. În acest scop, am importat o hartă a rețelei stațiilor seismice din România [164]. Pe aceasta, am ales trei stații seismice ale căror înregistrări vor fi studiate de către elevi (Fig. IV.31). Acestea

sunt IAS (Iași), AMRR (Amara) și CRAR (Craiova). Stațiile respective au fost alese astfel încât să se găsească la distanțe diferite de epicentru, dar distribuite în jurul acestuia, astfel încât, atunci când se analizează datele, să se obțină rezultate cât mai exacte. Pentru fixarea punctelor respective pe hartă am ales comanda *Point*, iar apoi, cu un click se fixează punctul pe hartă. Cu click-dreapta din mouse am selectat proprietățile punctului care va apărea pe hartă – dimensiune, culoare – proprietăți care vor rămâne stabilite pentru toate etapele rulării aplicației. Stabilirea acestor puncte cu exactitate este foarte importantă deoarece ele vor fi centrele cercurilor care vor fi construite ulterior, cercuri reprezentând izoseistele, asigurând astfel rigurozitatea determinărilor. Pentru definirea cu precizie a locațiilor, am introdus în program coordonatele geometrice ale punctelor respective din planul spațiului de lucru (Fig. IV.32).




	IAS = (7.34, 5.5)
	AMRR = (7.21, 2.57)
	CRAR = (4.26, 2.29)

Fig. IV.32. Definirea coordonatelor stațiilor seismice

În Fig. IV.33., se poate observa că alături de fiecare punct definit apare o fereastră de date în care se va putea completa, în urma analizei datelor, distanța epicentrală corespunzătoare. Geometric, valoarea completată va reprezenta raza cercului care va fi construit cu centrul în punctul respectiv.

Pentru atribuirea valorilor respective corespunzătoare distanțelor epicentrale am folosit funcția de introducere a unei variabile prin intermediul unui cursor (Fig. IV.34). Din motive grafice, cursorul este ascuns în spatele hărții, iar în prim plan, alăturat stației seismice, apare doar fereastra de date.

În partea dreaptă a spațiului de lucru (Fig. IV.33), se pot observa casete de selecție care, atunci când sunt bifate aduc în prim plan resurse importante pentru determinările care vor fi făcute – seismograma model care explică modul în care se determină datele necesare, precum și seismogramele înregistrate la cele trei stații seismice alese.

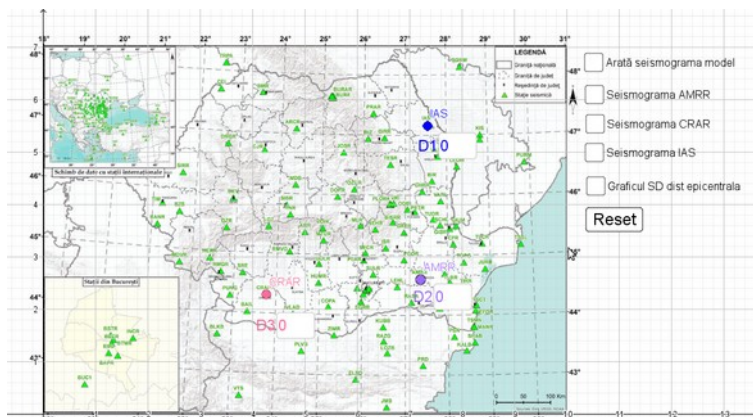


Fig. IV.33. Spațiul de lucru al aplicației construite în GeoGebra pentru determinarea coordonatelor unui cutremur [161, 164]



Fig. IV.34. Atribuirea valorilor distanțelor epicentrale

Pentru introducerea acestora, am folosit funcții Booleane (Fig. IV.35.a.). Similar, am făcut și definirea butonului de afișare a graficului distanței epicentrale în funcție de diferența dintre timpii de sosire ai undelor P și S la stația seismică (Fig. IV.35.b.).

Pasul următor este construirea cercurilor care au centrul în punctele de pe hartă și care au distanța epicentrală ca rază. Pentru aceasta, am introdus în program coordonatele centrului și ecuația fiecărui cerc. Astfel, odată introdusă distanța epicentrală în caseta text din dreptul fiecărei stații, programul rulează funcțiile definite și trasează cercurile folosind culoarea prestabilită. Dacă cercurile se intersectează într-un punct, înseamnă că determinările au fost corecte, punctul respectiv reprezentând epicentrul. Dacă nu se obține un punct, atunci se pot face ajustări reanalizând seismogramele.

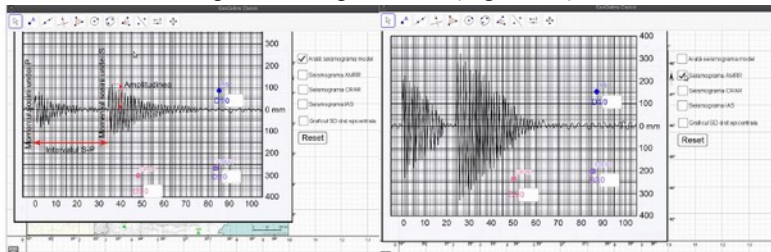
<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/> a = false		
<input type="radio"/>	C = (-0.64, -0.05)		
<input type="radio"/>	D = (9.99, -0.05)		
<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/> b = false		
<input type="radio"/>	G = (-0.57, -0.06)		
<input type="radio"/>	H = (10.05, -0.06)		
<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/> c = false	<input type="radio"/>	K = (-0.38, 0.14)
<input type="radio"/>	I = (-0.47, -0.37)	<input type="radio"/>	L = (6.3, 0.14)
<input type="radio"/>	J = (10.16, -0.37)		
<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/> d = false	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/> i = false

a.

b.

Fig. IV.35. Definierea butoanelor de afișare pentru:
a. seismogramele utilizate; b. graficul $\delta(\Delta T)$

Pentru a utiliza aplicația, etapele de lucru sunt intuitive. Totuși, se pot pune la dispoziția elevilor instrucțiunile necesare. În primul rând, se deschide spațiul de lucru al aplicației (Fig. IV.33). Pentru început, se deschide seismograma model pentru a identifica modul în care se vor face determinările pentru diferența dintre timpii de sosire ai undelor P și S , ΔT . Apoi, elevul va deschide pe rând seismogramele corespunzătoare fiecărei stații alese și va determina valoarea corespunzătoare pentru ΔT_i (Fig. IV.37).



a.

b.

Fig. IV.37. Seismograme utilizate pentru stabilirea intervalului ΔT dintre sosirea unei P și sosirea unei S la stația seismică. a. seismograma model; b. seismograma corespunzătoare stației Amara (AMRR) [161]

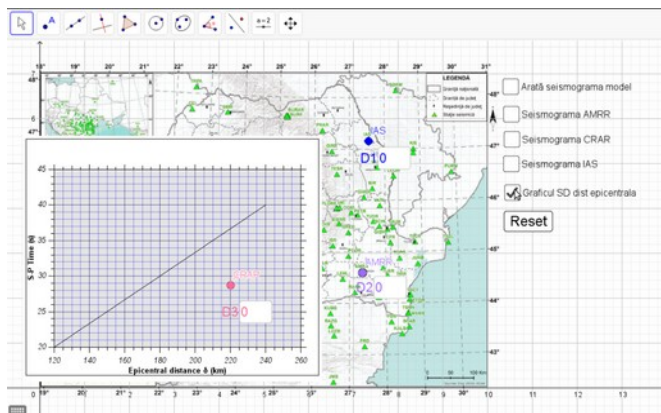


Fig. IV.38. Graficul $\delta(\Delta T)$ care ilustrează dependența liniară a distanței epicentrale de intervalul de timp dintre sosirea undei P și sosirea undei S la stația seismică [161]

Pentru aflarea distanței epicentrale, se deschide graficul care reprezintă dependența distanței epicentrale de intervalul de timp determinat, $\delta(\Delta T)$, așa cum se poate vedea în Fig. IV.38 și va identifica valorile acestuia pentru fiecare stație seismică în parte. Toate acestea se fac bifând casetele corespunzătoare din partea dreaptă a spațiului de lucru. Odată distanțele epicentrale determinate, valorile lor se completează în casetele care se găsesc în dreptul fiecărei stații, iar programul va trasa cercurile corespunzătoare izoseistelor (Fig. IV.39).

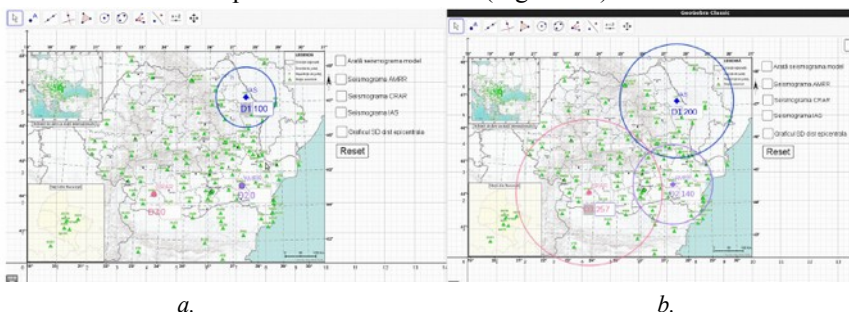


Fig. IV.39. Trasarea izoseistelor: a. cercul corespunzător stației IAS cu raza de 100km; b. imaginea finală după introducerea tuturor datelor. Intersecția cercurilor reprezintă poziția epicentrului [161]

Seismogramele utilizate în această aplicație nu sunt cele reale. Ele sunt modele pe care le-am construit în scop didactic, pentru un cutremur imaginar, plecând de la datele reale înregistrate de stațiile respective.

Graficul din Fig. IV.38 a fost realizat pornind de la calcule teoretice. Am ales un cutremur cu epicentrul în zona Vrancea, fiind cunoscută ca zona cu cea

mai importantă activitate seismică. În condiții ideale, raportul $\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{3}$ [165].

Pentru a simplifica calculele matematice, am aproximat această valoare cu 2 și am considerat viteza undei P ca având valoarea de $7,8 \text{ km/s}$. Astfel, se poate

calcula panta graficului $\frac{\Delta T}{\delta} = 6$. Valorile folosite nu sunt foarte precise, fiind

vorba de o aplicație proiectată în scop didactic, având ca scop ușurarea înțelegerii fenomenului din punct de vedere calitativ și modulul de aplicare a metodei de către elevi. Modelul proiectat respectă rezonabil fenomenele reale și modul de a le analiza.

Odată parcurși pașii de lucru, dacă determinările au fost făcute riguros, elevul va obține o imagine ca în Fig. IV.39.b. unde toate cele trei cercuri se intersectează într-un punct care reprezintă locația epicentrului. În cazul în care cercurile nu se intersectează, folosind butonul *Reset* elevul poate relua determinările cu mai multă atenție pentru a ajunge la rezultatul corect. Astfel de erori pot duce la discuții constructive legate de modul în care se fac determinările, de modul în care se asigură acuratețea culegerii de date, de surse de erori și cum pot fi ele reduse, implicit de modul în care se proiectează și se derulează un experiment științific în general. Această etapă de analiză a rezultatelor este foarte importantă pentru procesul de învățare pentru că ne permite să ne asigurăm că elevul a înțeles principiile de aplicare a metodei și că nu s-a mulțumit doar să reproducă mecanic procedeul prezentat.

Un alt aspect care poate fi pus în practică folosind această aplicație este corelarea etapelor de lucru cu calculul algebric implicat. Pentru aceasta, se poate opta pentru vizualizarea în partea stângă a spațiului de lucru a acestor calcule care duc la funcționarea aplicației (Fig. IV.40). Consultând și analizând calculele din spatele aplicației, elevii pot înțelege mai bine fenomenul fizic și modul în care aparatul matematic poate fi folosit pentru a-l descrie. De asemenea, elevii pot înțelege și modul de proiectare a aplicației în GeoGebra, putând fi implicați mai apoi în realizarea altor materiale de acest gen.

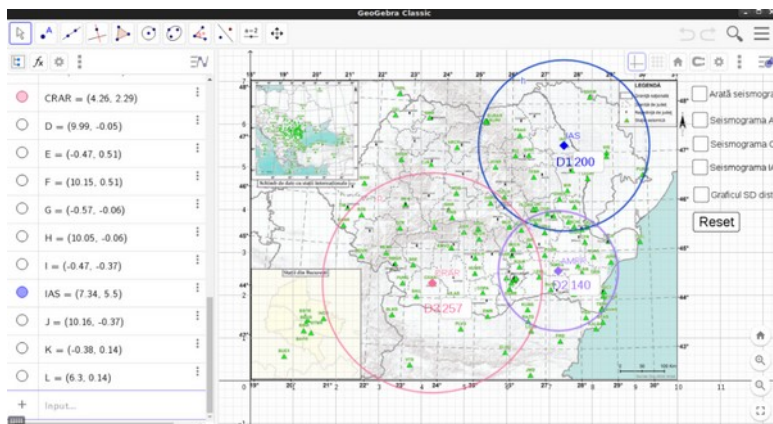


Fig. IV.40. Spațiul de lucru al aplicației vizualizând calculele algebrice în partea stângă a ecranului [161]

Metoda prezentată permite elevilor de liceu să experimenteze o investigație științifică sub îndrumarea profesorului, care are rol de facilitator al experienței de învățare. Prin acest mod de lucru sunt implicați toți elevii, indiferent de gradul lor de pregătire și de implicare în orele de Fizică, nu numai cei pasionați și foarte bine pregătiți.

Aplicația permite elevilor să determine poziția epicentrului unui cutremur cu precizie bună, reducând considerabil erorile datorate desenelor realizate cu ajutorul instrumentelor geometrice. De asemenea, în caz de neatenție la citirea datelor necesare, elevii au posibilitatea de a relua determinările în așa fel încât rezultatele să devină mai mult decât satisfăcătoare. Greșelile pot fi analizate constructiv, putând provoca momente de reflecție și discuții de grup în care elevii să descopere singuri unde au greșit și cum pot remedia aceste greșeli, ceea ce duce la o mai bună înțelegere a fenomenului studiat.

Metoda de lucru descrisă poate fi foarte ușor adaptată sistemului de învățământ *on-line*, necesitate apărută recent în urma crizei sanitare cauzate de pandemia de Covid care a debutat în anul 2020. Astfel, suportul teoretic necesar și instrucțiunile de lucru pot fi transmise elevilor prin mijloace electronice folosind un blog sau facilitățile unui *classroom* de pe o platformă de învățare. Aplicația în sine poate fi distribuită în același mod, iar elevii pot experimenta fie individual, fie în grupe de lucru organizate virtual (de exemplu *breaking-rooms* dacă se folosesc platformele GSuite sau Zoom). Se pot organiza întâlniri în sistem

de videoconferință atât pentru introducerea metodei și a noțiunilor teoretice, pentru sesiuni de întrebări și răspunsuri care să ajute elevii să își clarifice concepte sau etape de lucru, dar și pentru discutarea, analizarea și evaluarea rezultatelor obținute și pentru *feed-back* la final de activitate.

Implicarea elevilor în investigarea fenomenelor naturale cu impact major în viața de zi cu zi, cum sunt cutremurele, îi face mai atenți la explicațiile vehiculate în mass media și nu vor mai accepta cu ușurință informații nefundamentate științific, dezvoltând gândirea critică și spiritul analitic, făcându-i mai puțini vulnerabili la dezinformare. Activitățile de investigație științifică atrag elevii către studiul științelor, în special a Fizicii, punându-i în contact cu aplicații practice ale fenomenelor studiate. Astfel, elevii vor face corelări corecte între noțiunile teoretice studiate și observațiile personale sau aplicațiile lor în viața de zi cu zi, dezvoltând curiozitatea și dorința de a înțelege fenomenele naturale [166 - 169].

IV.5.4. Instrumente vizuale realizate pentru explicarea conceptuală a noțiunilor fundamentale de Seismologie [154]

Animația "Cutremur" (Fig. IV.41) ilustrează modul în care undele primare se propagă prin interiorul Pământului. În același timp, se vizualizează modul în care se înregistrează seismograma, permițând realizarea unei paralele între înregistrare și fenomenul de propagare a undelor seismice. În momentul în care undele seismice ajung la clădirea unde se găsește observatorul, aceasta suferă daune, sugerând distrugerile posibile care pot apărea în cazul unui cutremur. Animația poate fi rulată de mai multe ori, se poate face stop-cadru în diferite etape și poate oferi prilejul pentru a discuta despre mai multe aspecte legate de fenomenul studiat, cum ar fi modul în care se propagă undele seismice, diferențele dintre vitezele acestora, dintre efectele pe care le au, modul în care sunt înregistrate pe seismogramă, efectele acestora la suprafața Pământului.

Pe lângă *Whiteboard Animations* folosite în predarea noțiunilor de bază ale Teoriei Relativității Restrânse [137, 138, 170] animațiile simple realizate cu ajutorul programului TupiTube s-au dovedit foarte utile pentru a prezenta elevilor anumite fenomene și noțiuni de bază [119]. Chiar și software-ul Krita, folosit pentru desenele din *Whiteboard Animations* [137, 138, 170], beneficiază de un instrument de animație, dar acesta este ceva mai complicat decât Tupi.

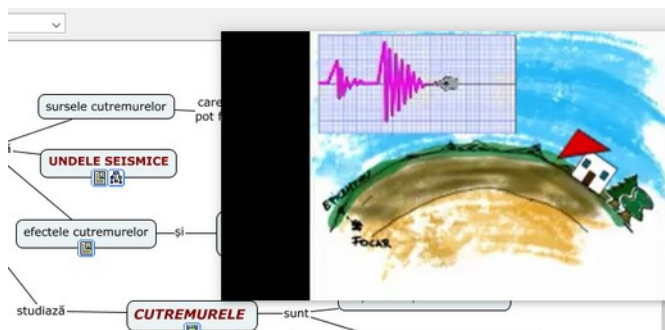


Fig. IV.41. Animația "Cutremur" construită cu Tupi

Această animație prezintă modul în care undele seismice interne se propagă prin interiorul Pământului, ajungând la o stație seismică. Stația respectivă este afectată de seism, sugerând, prin animația respectivă, faptul că undele S au un impact distructiv mai mare decât cele P. De asemenea, în timpul propagării undelor seismice se vizualizează și felul în care se înregistrează seismograma corespunzătoare. În felul acesta, se poate face corelația dintre modul de propagare a undelor seismice, modul în care acestea sunt înregistrate și efectele pe care le produc.

Materialele video realizate prin metoda Whiteboard Animation scot în evidență două aspecte important de urmărit atunci când este vorba despre un cutremur. Tehnica *Whiteboard Animation* de realizare a unei animații constă în realizarea unui material video care urmărește modul în care se realizează desenul odată cu derularea narațiunii care explică fenomenul descris. Tehnica are avantaje multiple, dintre care pot aminti faptul că este incitantă, trezește curiozitatea prin faptul că mesajul vizual se construiește pe măsură ce se dezvoltă subiectul. Desenele sunt simple, accesibile, ușor de urmărit, fără să creeze probleme de înțelegere. S-a demonstrat că folosirea unor astfel de materiale ajută elevii să rețină mai ușor noțiunile nou introduse și să le coreleze cu cele deținute deja. Materialele astfel realizate se adresează mai multor stiluri de învățare, făcând apel la toate simțurile implicate în recepționarea unui mesaj [137, 138, 170, 171].

Una dintre animații, "*Măsuri în caz de seism*" (Fig. IV.45.a), prezintă într-un mod dinamic măsurile care trebuie luate în cazul producerii unui seism. Sunt prezentate măsuri de prevenție care trebuie luate înainte de cutremur, ce trebuie făcut în timpul producerii seismului, dar și după ce acesta a încetat.



Fig. IV.45. Animații construite folosind tehnica Witheboard Animation (preluat [154])

O altă animație construită folosind această tehnică este "Richter vs. Mercalli" (Fig. IV.45.b), animație care face o paralelă între scalele Richter și Mercalli, cele mai cunoscute scale de măsură a magnitudinii, respectiv a intensității macroseismice ale unui cutremur. Scopul acestei animații este ca elevul să își formeze o imagine clară despre efectele pe care le pot avea cutremurele de diferite magnitudini și intensități, precum și să înțeleagă mai clar care sunt diferențele între mărimile fizice magnitudine și intensitate macroseismică.

Animațiile sunt dinamice, mesajul vizual construindu-se pe măsură ce naratorul prezintă informația. Tehnica este de impact, informațiile devenind mai interesant de urmărit și mai ușor de reținut. Pentru desen s-a folosit o tabletă grafică Genius MousePen i608x, filmul înregistrând în timp real ceea ce se desenează. Pentru realizarea desenului am folosit programul Krita (<https://krita.org/en/>), iar pentru captura de imagine programul Kazam (<https://launchpad.net/kazam>). Înregistrările audio s-au făcut cu ajutorul microfonului laptopului, iar pentru editare s-a folosit programul Kdenlive (<https://kdenlive.org/en/>). Toate acestea sunt programe gratuite și open-source.

Imagini sugestive (Fig. IV.46) au fost create folosind programul de editare Inkscape (<https://inkscape.org/>), program gratuit și open-source. Acestea sunt atât imagini originale, cât și imagini din literatura de specialitate prelucrate și adaptate pentru elevii de liceu. Se pot găsi imagini care să ilustreze modul de producere a unui cutremur, parametrii acestuia, tipurile de unde, structura internă a Pământului, schema seismografului și componentele sale etc.. Scopul acestora este acela de a sprijini învățarea folosind mesajul vizual, pentru a completa explicațiile teoretice.

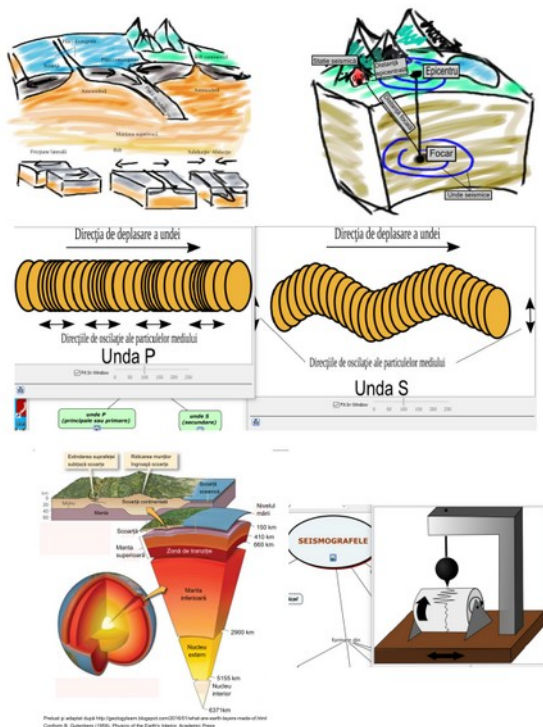


Fig. IV.46. Imagini create folosind Inkscape (preluat [154])

IV.6. Concluziile capitolului IV

Harta conceptuală se dovedește a fi un instrument util elevilor pentru o mai bună și mai ușoară înțelegere a noțiunilor specifice Fizicii. De asemenea, ajută la conectarea noilor noțiuni cu cele anterioare, cu experiențele și fenomenele întâlnite în mediul înconjurător. În plus, utilizarea hărților conceptuale dezvoltă elevilor numeroase competențe, cum ar fi învățarea activă, gândirea critică, capacitatea de a rezolva probleme etc. [119, 122].

În acest capitol, am arătat cum pot fi folosite eficient în procesul de predare – învățare două instrumente principale – Cmap Tools și Tracker – dar și alte programe (GeoGebra pentru a realiza simulări, Tupi pentru realizarea de animații, Inkscape pentru editare imagine etc.) pentru a introduce trei unități de învățare la nivel de liceu. Programele sunt ușor de utilizat, fiind intuitive, site-urile lor și internetul oferind instrucțiuni și tutoriale cu instrucțiuni de utilizare

care sunt de un mare ajutor. Combinația de instrumente prezentată determină o abordare logică, graduală a conținuturilor, pornind de la ceea ce elevii știau deja, apoi construind noi experiențe de învățare. Experimentele virtuale, aplicațiile interactive și simulările sunt un adăos eficient la experimentele de laborator, ajutând la corelarea fenomenului real cu cel modelat în laborator. Eficiența acestora a fost dovedită de numeroase studii științifice de-a lungul timpului [111, 124, 145, 146, 153, 172 - 174]. În plus, se dezvoltă și competențele tehnologice, cum ar fi capacitatea de a utiliza noile tehnologii, capacitatea de a proiecta și a implementa o activitate de investigație științifică riguroasă, un experiment științific, de a culege date experimentale, de a le prelucra și de a le analiza și interpreta, de a adapta dispozitivele folosite pentru a reduce erorile de determinare. Tot legat de competențele tehnologice este și faptul că prin animații sau simulări se explică mecanismele de funcționare a diferitelor dispozitive, precum seismograful, sau modul în care se derulează un fenomen fizic.

Combinarea utilizării hărților conceptuale cu alte resurse bazate pe diferite programe de calculator, în special cele gratuite și/sau *open-source*, reprezintă o adaptare la mediul noilor tehnologii cu care elevii din zilele noastre se simt foarte confortabil. Interesul elevilor crește atunci când în procesul de învățare sunt introduse tehnologii cum ar fi utilizarea camerelor video, a telefoanelor inteligente, a calculatorului și programelor moderne. În felul acesta învățarea în sine devine mai atractivă, iar studiul este încurajat, devenind mai eficient.

Un alt aspect important al acestei abordări este dat de posibilitatea de a aplica aceste instrumente didactice atât în orele clasice, față-în-față, dar și în cursul orelor de curs derulate *on-line*. Această necesitate de adaptare a apărut brusc, odată cu criza sanitară generată de pandemia de Covid în anul 2020. Cu această ocazie, am fost nevoiți să dezvoltăm metode și mijloace atractive de a continua procesul instructiv – educativ în mediul virtual, instrumente care pot fi de folos și pe viitor în situații excepționale care presupun învățământul la distanță (intemperii naturale, perioade de izolare epidemiologică etc.).

CONCLUZII

Prezenta teză de doctorat are un puternic caracter aplicativ la nivelul Fizicii educaționale, este orientată pe principalii piloni ai sistemului de învățământ contemporan: *învățarea Fizicii folosind strategia investigației științifice și folosirea noilor tehnologii educaționale* și se bazează pe evidențierea celor mai bune practici de predare și dezvoltarea creativității în predarea Fizicii folosind investigația științifică, dezvoltarea abilităților digitale și promovarea unei învățări vizibile sincrone și asincrone. Scopul principal urmărit în lucrarea de față a fost dezvoltarea unor instrumente originale care să permită integrarea eficientă a strategiei didactice bazată pe investigația științifică în cadrul orelor de Fizică.

În partea introductivă – *Introducere – Delimitări conceptuale ale noțiunii de investigație științifică* – am stabilit contextul general al lucrării de față. Mi-am bazat demersul pe studiul literaturii de specialitate în cadrul căruia am urmărit să evidențiez necesitatea și utilitatea inovației în educație, în special a abordării strategiei investigației științifice ca strategie didactică, să o definesc, să evidențiez nivelurile de investigație științifică și modelele consacrate, să evidențiez experiențe de succes în aplicarea acestora în procesul instructiv. Am prezentat rolul profesorului din noua perspectivă, acesta devenind un facilitator al procesului de învățare. Rolul instrumentelor virtuale și ale celor specifice noilor tehnologii este bine fundamentat în studiile științifice și duce la noi abordări în cadrul orelor de Fizică, introducând posibilități noi de aplicare a strategiilor didactice – laboratoare tehnologizate, experimente virtuale, analiza video, laboratoare controlate de la distanță, realitatea virtuală.

Justificarea prezentei teze de doctorat este bazată pe cercetarea făcută în rândul profesorilor care predau discipline specifice profilului real (Fizică, Chimie, Biologie, Matematică, Tehnologii, Informatică, TIC) în învățământul preuniversitar din România și care stă la baza Capitolului I – *Influența atitudinii și competențelor profesorilor asupra abordării investigației științifice în activitatea didactică*. Studiul a fost susținut în perioada 2020-2021 și rezultatele acestuia au fost sintetizate în articolul "*Secondary teachers' competencies and attitude: A mediated multigroup model based on usefulness and enjoyment to examine the differences between key dimensions of STEM teaching practice*", autori Chiriacescu F.S. et al, publicat în jurnalul PlosOne, în 2023.

Există studii care au demonstrat că atitudinea profesorilor este influențată de factori precum competențele acestora, percepția eficienței, abilitățile de a utiliza noile tehnologii, experiența etc. În cercetarea noastră, am explorat rolul de mediere a *utilității* percepute și a *satisfacției* oferită de strategia bazată pe investigație științifică, în funcție de specializarea profesorilor. Am luat în calcul *competențele* profesorilor, ca variabilă independentă, și *percepția utilității* și *satisfacția* ca variabile de mediere. Am demonstrat că *atitudinea*, influențată de *competențele* profesorului, are un rol decisiv în adoptarea strategiei didactice. Factorii cognitivi și afectivi – *utilitatea* și *satisfacția* – sunt necesari și au un rol important pentru a susține o *atitudine* pozitivă a profesorilor față de acceptarea și implementarea investigației științifice ca strategie didactică. Conform datelor obținute, influența stilului de predare nu este semnificativă în relațiile dintre factori. Relația dintre *competențe* și *atitudine* este directă și intensă, *utilitatea* și *satisfacția* având un rol de mediere important. Efectul direct al factorului *competențe* asupra *utilității*, *atitudinii* și *satisfacției* este puternic pentru IBL, iar efectul direct al *utilității* și *satisfacției* asupra *atitudinii* este mic. Aceste rezultate confirmă ipoteza conform căreia *atitudinea* profesorului este influențată, în primul rând, de *competențele* sale și nu de beneficiile pe care le-ar putea achiziționa pe termen scurt. Înțelegerea relațiilor dintre factorii analizați poate îmbunătăți eficiența strategiilor didactice studiate.

Pornind de la aceste rezultate, am ales să prezint pe parcursul capitolelor următoare câteva instrumente specifice strategiei didactice bazată pe investigație științifică, instrumente care îmbunătățesc calitatea activității didactice, sporesc *satisfacția* profesorilor, întăresc *percepția utilității* și *atitudinea* pozitivă față de implementarea acestor strategii didactice în activitatea curentă. Din punct de vedere al elevilor, folosind investigația științifică, aceștia sunt implicați activ în procesul de predare – învățare – evaluare, eficiența activității de învățare crește, se dezvoltă *competențe* și *abilități* precum gândirea critică, lucrul în echipă, spiritul de inițiativă, creativitatea etc., ceea ce duce la sporirea eficienței învățării.

Capitolul II – *Integrarea instrumentelor didactice alternative în studiul dinamic al torsiunii* - se bazează pe două lucrări: articolul *Dynamic study of torsion using Tracker software*, autori Fabiola Chiriacescu et al, publicat în *Romanian Reports in Physics* 72(3) din 2020 și pe lucrarea *Arduino Setup Used as Didactic Tool for the Dynamic Study of Torsion*, autori Fabiola Chiriacescu et al, prezentată la *International Conference on Virtual Learning ICVL* (2020). În cadrul acestui capitol, pentru început, am prezentat contextul teoretic și

dispozitivul experimental, apoi am prezentat două abordări noi, specifice învățării prin investigație științifică, care pot optimiza metoda experimentală clasică pentru studiul dinamic al torsiunii, folosind mijloace specifice noilor tehnologii pentru a face măsurători, a culege și prelucra datele experimentale.

Prima abordare se bazează pe folosirea programului de analiză video Tracker, program de analiză video și instrument de modelare destinat studiului Fizicii, care poate fi utilizat cu succes în laboratorul de Fizică. În acest caz, se atașează dispozitivului experimental o cameră video plasată cu atenție pentru a filma cu acuratețe experimentul. Fișierul video este apoi încărcat în programul Traker care permite măsurarea a 24 mărimi fizice. A doua abordare introduce un dispozitiv Arduino pentru culegerea datelor experimentale, în felul acesta putând colecta un număr foarte mare de date experimentale într-un timp scurt și cu un mare grad de precizie. Dispozitivele folosite sunt ieftine, iar programele utilizate sunt gratuite, open-source, rulează pe mai multe sisteme de operare, intuitive, pe internet găsiindu-se tutoriale care descriu modul lor de utilizare. Rezultatele experimentale obținute prin cele două metode au fost foarte bune.

Utilitatea instrumentelor de studiu dinamic al torsiunii prezentate implică valorificarea *competențelor* tehnologice și de utilizare a noilor tehnologii de către profesori și transmiterea acestora către elevi în mod eficient, prin intermediul unei activități practice bazată pe investigație științifică. *Utilitatea* acestei abordări este mai mare decât în cazul abordării tradiționale a experimentului deoarece pachetele de date experimentale sunt mai bogate, cu un grad de precizie mai mare, prelucrarea lor este mai ușoară datorită programelor folosite, rezultatele obținute fiind într-o concordanță foarte bună cu cele teoretice. *Satisfacția* oferită de acest tip de activitate este și ea semnificativă, fiind oferită de caracterul interactiv al experimentului, de utilizarea noilor tehnologii și de calitatea rezultatelor obținute. Investigația este deschisă, permițând elevilor să emită propriile ipoteze pe care apoi să le verifice, asigurând în acest fel un proces de învățare diferențiată, adaptată la stilul de învățare al fiecărui elev. Toate acestea conduc la o *atitudine* pozitivă a profesorilor pentru implementarea investigației științifice în activitatea didactică.

Capitolul III – *Investigația științifică – strategie didactică în studiul fenomenelor acustice* – se bazează pe studiul realizat pentru articolul *Acoustic resonators - a method for online study in determining the speed of sound in air*, autori Fabiola Chiriacescu et al, *Romanian Reports in Physics* 73(2) 904 din 2021. În acest capitol am prezentat o nouă abordare a metodei de determinare a

vitezei sunetului folosind dispozitivul experimental bazat pe rezonatori acustici și noile tehnologii, abordare integrată într-un proiect de investigație științifică. Strategia descrisă poate fi aplicată atât în cadrul cursurilor cu prezență fizică, cât și în cadrul cursurilor *on-line*. Investigația științifică prezentată presupune derularea experimentului clasic, filmarea lui și folosirea a două programe – *Audacity* pentru analiza sunetului și *Kdenlive* pentru analiza imaginii. Metoda este simplă și cu costuri reduse, utilizând elemente de tehnologie aflate la îndemână – o cameră video (care poate fi și cea din dotarea unui telefon inteligent) și un calculator pe care se pot instala programele menționate fără costuri. Programele sunt ușor de folosit, iar în ajutorul utilizatorului vin numeroase materiale și tutoriale care se găsesc pe internet. În felul acesta se combină și se completează *competențele* tehnologice cu cele de utilizare a noilor tehnologii. Pachetul de date experimentale obținut este foarte bogat, măsurătorile având un grad mare de precizie. Mai mult, filmul experimentului poate fi urmărit de câte ori este nevoie, adaptat cu ritmul de învățare al fiecărui elev, putând face observații riguroase, ceea ce duce la o mai bună înțelegere a fenomenului studiat. Programele folosite, *Audacity* și *Kdenlive*, deși nu sunt proiectate pentru determinări de laborator, primul fiind un editor audio, iar cel de-al doilea un editor video, pot substitui cu succes instrumente de laborator. În cadrul unei activități bazată pe investigație științifică, așa cum este cea prezentată în acest capitol, elevii au posibilitatea să descopere noi valențe, noi funcții ale celor două programe, să înțeleagă mai bine principiile după care se ghidează funcționarea lor.

Abordarea prezentată permite profesorului să își utilizeze *competențele* tehnologice și de folosire a instrumentelor specifice noilor tehnologii în activitatea didactică și să dezvolte astfel de *competențe* elevilor, asigurând caracterul inovativ al învățării. *Competențele* de utilizare a noilor tehnologii ancorează procesul instructiv-educativ în realitățile zilelor noastre și îl fac atractiv pentru elevi. *Utilitatea* strategiei este confirmată de valoarea rezultatelor obținute: pachete de date bogate și exacte, metode de prelucrare rapide și eficiente, rezultatele foarte bune, posibilitatea de a adapta strategia și pentru orele *on-line*, calitatea bună a observațiilor și a concluziilor. Folosirea eficientă a *competențelor* profesorului și *utilitatea* demonstrată a investigației duc la crearea unei *atitudini* pozitive față de implementarea acesteia atât în cazul prezentat, cât și în alte situații, aceasta conducând la sporirea *satisfacției* obținute în urma derulării activității. Creșterea tuturor acestor factori arată că implementarea strategiilor

bazate pe investigație științifică duc la un proces educativ mai eficient, în care elevul devine responsabil pentru propriul proces de învățare, profesorul având rolul de facilitator. Astfel, elevii construiesc propriile ipoteze, cercetează și investighează pentru a le verifica, evaluează procesul de cercetare căutând metode de îmbunătățire.

Capitolul IV – *Harta conceptuală – instrument didactic pentru studiul mișcărilor periodice* – are la bază patru lucrări prezentate în conferințe internaționale și publicate în proceedings-urile indexate ISI ale acestora, și anume: *Didactic instrument developed in GeoGebra for the determination of the coordinates of an earthquake based on an inquiry based learning method*, autori Fabiola Chiriacescu et al, prezentată la *International Scientific Conference "eLearning and Software for Education"*, în anul 2019; *Using Conceptual Map for a Better Understanding of Circular Motion*, autori Fabiola Chiriacescu et al, prezentată la *TIM International Physics Conference* în anul 2019; *Cmap Tools and Tracker used for studying the harmonic oscillator*, autori Fabiola Chiriacescu et al, prezentată la *International Conference on Virtual Learning* în 2019 și *Using Conceptual Maps and Free Open-Source Applications for Seismology Studies at High School Level*, autori Fabiola Chiriacescu et al, prezentată la *International Conference on Virtual Learning*, din anul 2021. Ideea centrală în acest capitol este descrierea modului în care se poate construi și utiliza o hartă conceptuală în cadrul unui proiect de investigație științifică, folosind programe gratuite pentru realizarea atât a hărților conceptuale, cât și a resurselor atașate acestora în scopul punerii în evidență a diferitelor fenomene, explicării conceptelor, realizării aplicațiilor practice. Am ales mișcări periodice – mișcarea circulară, mișcarea oscilatorie și propagarea undelor seismice – deoarece sunt subiecte în cadrul cărora apar multe noțiuni noi care pot fi ușor structurate cu ajutorul hărții conceptuale, dar și pentru a asigura și a scoate în evidență o coerență în continuitatea studiului folosind strategia didactică bazată pe investigația științifică.

În acest capitol, am prezentat modele ale aplicării investigației științifice care să valorifice *competențele* profesorului în domeniul noilor tehnologii în cursul procesului educativ. Astfel, folosirea programelor de construire a hărții conceptuale, dar și de realizare a resurselor folosite pentru exemplificare, justificare, experimentare a fenomenelor și noțiunilor studiate reprezintă o provocare atât pentru profesor, care are oportunitatea de a valorifica și de a-și îmbunătăți *competențele* în domeniu, cât și pentru elevi care au oportunitatea de a

dobândi *competențe* specifice secolului XXI. Lecțiile de Fizică devin interactive, adaptate societății tehnologizate de astăzi, mai atractive pentru elevi. Hărțile conceptuale interactive reprezintă un teritoriu de investigat care este adaptat tuturor tipurilor de învățare, prin resursele variate puse la dispoziție, dar și ritmurilor diferite de studiu, permițând parcurgerea materialelor în ce ordine și în ce ritm este specific fiecărui utilizator. Ele pot fi folosite în orice etapă a procesului educativ – pentru transmiterea de informații, pentru învățare sau pentru evaluare. Utilizarea hărților conceptuale stimulează elevii să observe, să exploreze și să investigheze. Toate acestea duc la un proces de învățare eficient, care oferă *satisfacție* atât profesorului, cât și elevului.

Aplicând la clasă strategiile bazate pe investigația științifică ce folosesc hărțile conceptuale, s-a constatat că ele sunt bine primite de elevi, ajutând la eficientizarea învățării, noțiunile și fenomenele fiind mai ușor înțelese, conexiunile dintre noțiunile teoretice și fenomenele observate în viața de zi cu zi fiind mai ușor de făcut, aceasta demonstrând *utilitatea* abordării. Având în vedere rezultatele bune obținute folosind strategiile didactice descrise, *satisfacția* este sporită atât pentru profesor, care evaluează eficiența procesului, cât și pentru elev, al cărui proces de învățare devine mai atractiv, mai personalizat, mai eficient. De asemenea, *atitudinea* față de investigația științifică este influențată pozitiv de toate cele enunțate – de folosirea și dezvoltarea *competențelor* în domeniul noilor tehnologii și integrarea acestora la clasă, de *utilitatea* demonstrată a abordării, de *satisfacția* oferită de eficiența procesului didactic. Toate acestea conduc la o modernizare a procesului instructiv-educativ și la adaptarea strategiilor didactice la nevoile actuale ale societății.

Aplicarea la clasă a strategiilor bazate pe investigație științifică a avut rezultate semnificative. În primul rând, se observă o dezvoltare a *competențelor* științifice de bază în rândul elevilor, o *atitudine* pozitivă față de învățarea Fizicii determinată de *satisfacția* și *utilitatea* percepute în urma procesului interactiv de învățare. Aceștia se familiarizează mai ușor cu noțiunile științifice abstracte și reușesc să identifice aplicabilitatea lor în situații reale, este dezvoltată capacitatea de a face observații pertinente și de a căuta explicații și aplicații ale fenomenelor întâlnite. Se dezvoltă numeroase competențe, abilități și atitudini cum ar fi: capacitatea de a proiecta și a derula riguros o investigație științifică, de a colecta date și de a le analiza, de a trage concluzii și de a căuta soluții de îmbunătățire a acesteia; spiritul de lucru în echipă și abilitățile de comunicare, proiectele de investigație fiind în majoritatea lor activități de grup care presupun colaborare,

împărțirea și asumarea sarcinilor de lucru, prezentarea și susținerea ideilor, argumentelor, concluziilor; spiritul de inițiativă, creativitatea și originalitatea deoarece elevii sunt puși în fața unor probleme pe care trebuie să le rezolve, de multe ori gășind soluții originale; abilitățile de transfer și integrare a cunoștințelor din mai multe domenii necesare realizării investigației, cum ar fi tehnologii, matematică și altele; abilități computaționale, calculatorul și dispozitivele informatice devenind din ce în ce mai mult instrumente prezente în aceste activități. Elevul devine mai responsabil față de propriul proces de învățare, trecând de la rolul pasiv de receptor de informații la rolul activ de a se implica în procesul instructiv-educativ având libertatea de a își exprima și implementa ideile. Nu în ultimul rând, orele de Fizică devin mai atractive, ducând la creșterea interesului elevilor față de acest domeniu, așa cum am arătat și în alte articole publicate în jurnale cotate ISI sau în proceeding-uri ale unor conferințe internaționale indexate ISI: *Arduino and Tracker video - didactic tools for study of the Kater pendulum physical experiment*; Chiriacescu B., Chiriacescu F.S. et al (2020) *Romanian Reports in Physics*; **72**(1) 901; *Modelling of a vertical wind turbine in the virtual lab*, Chiriacescu B., Chiriacescu F.S. et al (2021) *Romanian Reports in Physics* **73**(1) 901; *Building and testing a wind turbine experimental kit for students*, Chiriacescu B., Chiriacescu F.S. et al (2021) *Romanian Reports in Physics* **73**(3) 905; lucrări prezentate în conferințe internaționale și publicate în procedins-urile acestora: *GeoGebra application, used in the determination of the magnitude of an earthquake*, Chiriacescu B., Chiriacescu F.S. (2019) *11th World Conference on Educational Sciences (WCES-2019)*; *Whiteboard Animation – a way to ease the understanding of special theory for the relativity principles consequences*, Chiriacescu B., Chiriacescu F.S. (2019) *Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Learning*; *Whiteboard Animation – A tool for teaching the special theory of relativity*, Chiriacescu B., Chiriacescu F.S. (2019) *TIM 19 Physics Conference, American Institute of Physics Conference Proceedings Series (AIP-CP) 2020*; *Virtual and experimental aerodynamic study for student's lab*, Chiriacescu B., Chiriacescu F.S. (2020) *Proceedings of the 115th International Conference on Virtual Learning ICVL*; *The Garage Paradox Presented By Means Of Whiteboard Animation*, Chiriacescu B., Chiriacescu F.S. (2021) *The 16th International Conference on Virtual Learning ICVL*.

Rezultatele observate în urma implementării strategiilor didactice bazate pe investigația științifică au confirmat *utilitatea* acesteia, ceea ce determină sporirea *satisfacției* în urma implementării și a punerii în valoare a *competențelor*

Investigația științifică – strategie didactică pentru predarea Fizicii în învățământul preuniversitar

drd. Fabiola - Sanda Chiriacescu

profesorilor, ceea ce duce la o *atitudine* pozitivă față de această abordare și de o răspândire din ce în ce mai largă a strategiei didactice. Rezultatul este o adaptare la realitățile prezentului a predării Fizicii în învățământul preuniversitar, dezvoltarea caracterului inovativ al învățării, asigură o învățare diferențiată, adaptarea procesului instructiv la noile tehnologii și dezvoltarea competențelor specifice secolului XXI necesare pe piața muncii care este din ce în ce mai tehnologizată.

BIBLIOGRAFIE

- 1 Union européenne. Commission européenne, & Union européenne. Direction générale de la recherche. (2007) *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Office for Official Publications of the European Communities.
- 2 Organisation for Economic Co-operation and Development. (2006). *Evolution of student interest in science and technology studies*: Policy report. Paris: OECD Global Science Forum.
- 3 Osborne J., Dillon J. (2008) *Science education in Europe: Critical Reflections*.
- 4 Education at a Glance 2015: OECD indicators” (OECD, 2015).
- 5 Shi W.Z., Ma L., Wang J. (2020) Effects of inquiry-based teaching on chinese university students’ epistemologies about experimental physics and learning performance, *Journal of Baltic Science Education*, **19**(2) 289-297.
- 6 Ruíz Rodríguez F.J., Torreglosa J.P. (2020) Evaluating the effect of using synchronous machine simulations to support traditional teaching methodology in electrical engineering degree courses. *Computer Applications in Engineering Education*, **28**(3) 556-567.
- 7 Galan D., Heradio R., de la Torre L., Dormido S., Esquembre F. (2017) The experiment editor: supporting inquiry-based learning with virtual labs. *European Journal of Physics*, **38**(3) 035702.
- 8 Blessinger P. (2015) Innovations in higher education teaching and learning, Volume 3: Inquiry-based learning for multidisciplinary programs: a conceptual and practical resource for educators, created in partnership with the *International Higher Education Teaching and Learning Association*, Emerald Group Publishing Limited.
- 9 Dewey J. (1910) Science as subject-matter and as method. *Science*, **31**(787) 121-127.
- 10 Kai Wah Chu S., Reynolds R.B., Tavares N.J., Notari M., Wing Yi Lee C. (2017) 21st century skills development through inquiry-based learning. From theory to practice, *Springer Science+Business Media*, Singapore.
- 11 Brown P., Concannon J. (2018) Inquiry-based science activities in grades 6–12, *Routledge*, New York.
- 12 Gillies R.M. (2020) *Inquiry-based science education*, CRC Press Taylor & Francis Group, New York.
- 13 Contant T.L., Tweed A.L., Bass J.E., Carin A.A. (2018) *Teaching science through inquiry-based instruction*, Pearson Education, New York.
- 14 Bybee R. (2014) The BSCS 5 E instructional model: Personal reflections and contemporary implications. *Science and Children*, **51**(8) 10–13.
- 15 Bybee R. (2015) The BSCS 5 E Instructional model: creating teachable moments (p.126) Arlington, VA: *National Science Teachers’ Association Press*.
- 16 Chu H.E., Martin S.N., Park J. (2018) A Theoretical framework for developing an intercultural STEAM program for Australian and Korean students to enhance science teaching and learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, **17** 1251–1266.
- 17 Lämsä J., Hämäläinen R., Koskinen P., Viiri J. (2018) Visualising the temporal aspects

- of collaborative inquiry-based learning processes in technology-enhanced physics learning. *International Journal of Science Education*, **40**(14) 1697-1717.
- 18 Deng X., Wang M., Chen H., Xie J., Chen J. (2019) Learning by progressive inquiry in a physics lesson with the support of cloud-based technology. *Research in Science & Technological Education*, 1–21.
- 19 Bauer C.F., Chan J.Y.K. (2019) Non-science majors learn about heat, temperature, and thermodynamics using the particulate nature of matter and guided-inquiry instruction. *American Journal of Physics*, **87**(7) 550–557.
- 20 Keebaugh C., Marshman E., Singh C. (2019) Improving student understanding of fine structure corrections to the energy spectrum of the hydrogen atom. *American Journal of Physics*, **87**(7) 594–605.
- 21 Ron Zohar B., Trumper R. (2020) The influence of inquiry-based remote observations via powerful optic robotic telescopes on high school students' conceptions of physics and of learning physics, *Journal of Science Education and Technology*.
- 22 Sullivan S., Puntambekar S. (2019) Learning with multiple online texts as part of scientific inquiry in the classroom. *Computers & Education*, **128** 36-51.
- 23 Madeali H., Prahani B. K. (2018) Development of multimedia learning based inquiry on vibration and wav material. *Journal of Physics: Conference Series*, **997** 012029.
- 24 **Chiriacescu, F.S.**, Chiriacescu, B., Grecu, A.E., Miron, C., Panisoara, I.O., Lazăr, I.M. (2023) Secondary teachers' competencies and attitude: A mediated multigroup model based on usefulness and enjoyment to examine the differences between key dimensions of STEM teaching practice, *PLOS ONE* **18**(1) e0279986.
- 25 Pedaste M., Sarapu T. (2006) Developing an effective support system for inquiry learning in a Web-based environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, **22**(1) 47–62.
- 26 Seneviratne K, Hamid J, Khatibi A, Azam SM, Sudasinghe S. (2019) Teachers' sense of efficacy: a challenge for professional development toward teaching science as inquiry. *Science Education Internațională*, **30** 274-83.
- 27 Farjon D., Smits A., Voogt J. (2018) Technology integration of pre-service teachers explained by attitudes and beliefs, competency, access, and experience, *Computers & Education* **130**.
- 28 Knezek G., Christensen R. (2008) The importance of information technology attitudes and competencies in primary and secondary education. In: *Voogt J, Knezek G, editors. International Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education*. 20. Boston: Springer p. 321-31.
- 29 Teo T., Noyes J. (2011) An assessment of the influence of perceived enjoyment and attitude on the intention to use technology among pre-service teachers: A structural equation modeling approach. *Computers & Education*, **57**(2) 1645–1653.
- 30 Bakker A.B., van Woerkom M. (2017) Flow at work: a self-determination perspective. *Occupational Health Science*, **1**(1-2) 47–65.
- 31 Wang L., Chiang F. (2020) Integrating novel engineering strategies into STEM education: APP design and an assessment of engineering-related attitudes. *British Journal of Educational Technology*, **51**(6) 1938–1959.
- 32 Gawrycka M., Kujawska J., Tomczak M.T. (2021) Self-assessment of competencies of

- students and graduates participating in didactic projects – Case study. *International Review of Economics Education* **36** 100204.
- 33 Teo T., Noyes J. (2011) An assessment of the influence of perceived enjoyment and attitude on the intention to use technology among pre-service teachers: A structural equation modeling approach, *Computers & Education* **57**(2) 1645-53.
- 34 Panisoara I.O., Lazar I., Panisoara G., Chirca R., Ursu A.S. (2020) Motivation and continuance intention towards online instruction among teachers during the COVID-19 Pandemic: the mediating effect of burnout and technostress, *International journal of environmental research and public health* **17**(21) 8002. PubMed PMID.
- 35 Davis F., Davis F. (1989) Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology, *MIS Quarterly* **13** 319.
- 36 Venkatesh V., Morris M., Davis G., Davis F. (2003) User acceptance of information technology: toward a unified view, *MIS Quarterly* **27** 425-78.
- 37 Huang Y. (2014) *Empirical analysis on factors impacting mobile learning acceptance in higher engineering education* [PhD thesis], University of Tennessee.
- 38 Mutambara D., Bayaga A. (2020) Rural-based Science, Technology, Engineering and Mathematics teachers' and learners' acceptance of mobile learning, *South African Journal of Information Management* **22** 1-10.
- 39 Korur F., Vargas R., Serrano N.T. (2016) Attitude toward science teaching of Spanish and Turkish in-service elementary teachers: multi-group confirmatory factor analysis, *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* **12**(2) 303-20.
- 40 Chiriacescu B., **Chiriacescu F.S.**, Voinea S. (2021) Modelling of a vertical wind turbine in the virtual lab, *Romanian Reports in Physics* **73**(1) 901.
- 41 **Chiriacescu F.S.**, Chiriacescu B., Miron C., Berlic C., Barna V. (2020) Dynamic study of torsion using Tracker software; *Romanian Reports in Physics*; **72**(3) 904.
- 42 **Chiriacescu F.S.**, Chiriacescu B., Miron C., Berlic C., Barna V. (2021) Acoustic resonators - a method for online study in determining the speed of sound in air; *Romanian Reports in Physics*; **73**(3) 904.
- 43 Kalsoom Q., Khanam A. (2017) Inquiry into sustainability issues by preservice teachers: A pedagogy to enhance sustainability consciousness, *Journal of Cleaner Production*, **164** 1301-11.
- 44 Langbeheim E., Perl D., Yerushalmi E. (2020) Science teachers' attitudes towards computational modeling in the context of an inquiry-based learning module, *Journal of Science Education and Technology*, **29** 785–96.
- 45 Mansour N. (2015) Science teachers' views and stereotypes of religion, scientists and scientific research: A call for scientist–science teacher partnerships to promote inquiry-based learning, *International Journal of Science Education*, **37**(11) 1767-94.
- 46 Pryor B., Pryor C., Kang R. (2016) Teachers thoughts on integrating STEM into social studies instruction: Beliefs, attitudes, and behavioral decisions, *The Journal of Social Studies Research*, **40** 123-36.
- 47 Thibaut L., Knipprath H., Dehaene W., Depaepe F. (2018) How school context and personal factors relate to teachers' attitudes toward teaching integrated STEM, *International Journal of Technology and Design Education*, **28**(3) 631-51.
- 48 Bettinger E. (2010) To be or not to be: major choices in budding scientists, *American*

- Universities in a Global Market: National Bureau of Economic Research, Inc.*, p. 69-98.
- 49 Donaghue H. (2003) An instrument to elicit teachers' beliefs and assumptions, *ELT Journal*, **57**.
- 50 Kagan D.M. (1992) Implication of research on teacher belief, *Educational Psychologist*, **27**(1) 65-90.
- 51 Zeichner K.M., Tabachnick B.R. (1981) Are the effects of university teacher education, *Journal of Teacher Education*, **32**(3) 7-11.
- 52 Finsterwald M., Wagner P., Schober B., Lüftenegger M., Spiel C. (2013) Fostering lifelong learning – Evaluation of a teacher education program for professional teachers, *Teaching and Teacher Education*, **29** 144–55.
- 53 Soper D.S. (2015) A-priori sample size calculator for multiple regression [Software].
- 54 Kozłowski A., Kaliszewski A., Dąbrowski J., Klimek H. (2021) Virtual network sampling method using LinkedIn, *MethodsX*, **8** 101393.
- 55 Baltar F., Brunet F., Ignasi (2012) Social research 2.0: virtual snowball sampling method using Facebook, *Internet Research*, **22**.
- 56 Maison D., Jaworska D., Adamczyk D., Affeltowicz D. (2021) The challenges arising from the COVID-19 pandemic and the way people deal with them. A qualitative longitudinal study, *PLOS ONE*, **16**(10) e0258133.
- 57 Zhao Y., Watterston J. (2021) The changes we need: Education post COVID-19, *Journal of Educational Change*, **22**(1) 3-12.
- 58 Lockee B.B. (2021) Online education in the post-COVID era, *Nature Electronics*, **4**(1) 5-6.
- 59 Kirchherr J., Charles K. (2018) Enhancing the sample diversity of snowball samples: Recommendations from a research project on anti-dam movements in Southeast Asia, *PLOS ONE*, **13**(8) e0201710.
- 60 Taherdoost H. (2016) Sampling methods in research methodology; how to choose a sampling technique for research, *International Journal of Academic Research in Management (IJARM)*, **5**.
- 61 Tyrer S., Heyman B. (2016) Sampling in epidemiological research: issues, hazards and pitfalls, *BJPsych Bull*, **40**(2) 57-60.
- 62 Galloway A. (2005) *Non-probability sampling*. In: Kempf-Leonard K, editor. Encyclopedia of Social Measurement. New York: Elsevier, p. 859-64.
- 63 Brown K. (2005) Snowball sampling: using social networks to research non-heterosexual women, *International Journal of Social Research Methodology*, **8**(1) 47-60.
- 64 Moseson H., Kumar S., Juusola J.L. (2020) Comparison of study samples recruited with virtual versus traditional recruitment methods, *Contemporary Clinical Trials Communications*, **19** 100590.
- 65 Akbulut Y., Dönmez O., Dursun Ö.Ö. (2017) Cyberloafing and social desirability bias among students and employees, *Computers in Human Behavior*, **72** 87-95.
- 66 Avcioğlu G.S. (2014) Internet survey applications in social sciences: Response rate, data quality, sample problems and solutions, *International Journal of Human Science of The Total Environment*, **11**(2) 89-113.
- 67 Sugiura L., Wiles R., Pope C. (2017) Ethical challenges in online research: Public/private perceptions, *Research Ethics*, **13**(3-4) 184-99.
- 68 Blümle A., Meerpohl J.J., Schumacher M., von Elm E. (2014) Fate of clinical research

- studies after ethical approval – follow-up of study protocols until publication, *PLOS ONE*, **9**(2) e87184.
- 69 Hokke S., Hackworth N.J., Quin N., Bennetts S.K., Win H.Y., Nicholson J.M., et al. (2018) Ethical issues in using the internet to engage participants in family and child research: A scoping review, *PLOS ONE*, **13**(9) e0204572.
- 70 Vahidnia F., Ghonsooly B., Shahriari H. (2021) Development and validation of students' attitudes towards teacher's pet phenomenon scale in the higher education setting: Differences by levels of study and Grade-Point-Average, *Studies in Educational Evaluation*, **70** 101000.
- 71 Ellard-Gray A., Jeffrey N.K., Choubak M., Crann S.E. (2015) Finding the hidden participant: solutions for recruiting hidden, hard-to-reach, and vulnerable populations, *International Journal of Qualitative Methods*, **14**(5) 1609406915621420.
- 72 Lavrakas P.J. (2008) *Encyclopedia of survey research methods*, Thousand Oaks, California: Sage Publications, Inc. 2022/02/02.
- 73 Chuang H.H., Weng C.Y., Huang F.C. (2015) A structure equation model among factors of teachers' technology integration practice and their TPCK, *Computers & Education*, **86** 182-91.
- 74 Hong J.C., Tsai C.R., Hsiao H.S., Chen P.H., Chu K.C., Gu J., et al. (2019) The effect of the “Prediction-observation-quiz-explanation” inquiry-based e-learning model on flow experience in green energy learning, *Computers & Education*, **133** 127-38.
- 75 Thompson B. (2004) *Exploratory and confirmatory factor analysis: Understanding concepts and applications*, Washington, DC, US: American Psychological Association, x 195-x.
- 76 Türel Y.K. (2011) An interactive whiteboard student survey: Development, validity and reliability, *Computers & Education*, **57**(4) 2441-50.
- 77 Piland S.G., Motl R.W., Ferrara M.S., Peterson C.L. (2003) Evidence for the factorial and construct validity of a self-report concussion symptoms scale, *J Athl Train*, **38**(2) 104-12. PubMed PMID: 12937520.
- 78 Comrey A.L., Lee H.B. (1992) *A first course in factor analysis*, 2nd ed. Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- 79 Tabachnick B.G., Fidell L.S. (2019) *Using multivariate statistics*, 7th Edition ed: Pearson.
- 80 Osborne J., Costello A.B. (2004) Sample size and subject to item ratio in principal components analysis, *Prac Assess Res Eval*, **9**(1) 11.
- 81 Panisoara I.O., Chirca R., Lazar I. (2020) The effects of online teaching on students' academic progress in stem, *Journal of Baltic Science Education*, **19**(6A) 1106-24.
- 82 Malureanu A., Panisoara G., Lazar I. (2021) The relationship between self-confidence, self-efficacy, grit, usefulness, and ease of use of elearning platforms in corporate training during the COVID-19 pandemic, *Sustainability*, **13**(12) 6633. PubMed PMID.
- 83 Lazar I.M., Panisoara G., Panisoara I.O. (2020) Digital technology adoption scale in the blended learning context in higher education: Development, validation and testing of a specific tool; *PLOS ONE*, **15**(7) e0235957.
- 84 Hair J., Hollingsworth C., Randolph A., Chong A. (2017) An updated and expanded assessment of PLS-SEM in information systems research, *Industrial Management & Data Systems*, **117** 442-58.
- 85 Khaliq A., Waqas A., Nisar Q.A., Haider S., Asghar Z. (2022) Application of AI and

- robotics in hospitality sector: A resource gain and resource loss perspective, *Technology in Society*, **68** 101807.
- 86 <https://analyze.intellectusstatistics.com/> ISOcsIS.
- 87 Hair J.F., Ringle C.M., Sarstedt M. (2011) PLS-SEM: Indeed a silver bullet, *Journal of Marketing Theory and Practice*, **19**(2) 139-52.
- 88 Lazar I., Panisoara G., Panisoara I.O. (2020) Adoption of digital storytelling tool in natural sciences and technology education by pre-service teachers using the technology acceptance model, *Journal of Baltic Science Education*, **19** 429-53.
- 89 Hair J., Hult G.T.M., Ringle C., Sarstedt M. (2016) *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*, 2nd edition: SAGE Publications, Inc.
- 90 Henseler J., Ringle C.M., Sarstedt M. (2015) A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling, *Journal of the Academy of Marketing Science*, **43**(1) 115-35.
- 91 Miltgen C.L., Smith H.J. (2015) Exploring information privacy regulation, risks, trust, and behavior. *Information & Management*, **52**(6) 741–759.
- 92 Ruiz-Palomino P., Yáñez-Araque B., Jiménez-Estévez P., Gutiérrez-Broncano S. (2022) Can servant leadership prevent hotel employee depression during the COVID-19 pandemic? A mediating and multigroup analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, **174** 121192.
- 93 Sabogal-Alfaro G., Mejía-Perdigón M.A., Cataldo A., Carvajal K. (2021) Determinants of the intention to use non-medical insertable digital devices: The case of Chile and Colombia. *Telematics and Informatics*, **60** 101576.
- 94 Drent M., Meelissen M. (2008) Which factors obstruct or stimulate teacher educators to use ICT innovatively?, *Computers & Education*, **51**(1) 187-99.
- 95 Tondeur J., van Braak J., Guoyuan S., Voogt J., Fisser P., Ottenbreit-Leftwich A. (2012) Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence, *Computers & Education*, **59**(1) 134-44.
- 96 Mei Kin T., Abdull Kareem O., Nordin M.S., Khuan W. (2017) Principal change leadership competencies and teacher attitudes toward change: the mediating effects of teacher change beliefs, *International Journal of Leadership in Education*, 1-20.
- 97 Schmidt W., Houang R. (2007) *Lack of focus in the mathematics curriculum: Symptom or cause?* In: Loveless T, editor. *Lessons learned: What international assessments tell us about math achievement*. Washington, DC: Brookings Press, p. 65-84.
- 98 Shanahan M.-C., Nieswandt M. (2011) Science student role: Evidence of social structural norms specific to school science, *Journal of Research in Science Teaching*, **48**(4) 367-95.
- 99 Hadjar A., Grecu A., Scharf J., de Moll F., Morinaj J., Hascher T. (2021) Changes in school alienation profiles among secondary school students and the role of teaching style: Results from a longitudinal study in Luxembourg and Switzerland, *International Journal of Educational Research*, **105** 101697.
- 100 Barak M. (2014) Closing the gap between attitudes and perceptions about ICT-enhanced learning among pre-service STEM teachers, *Journal of Science Education and Technology*, **23**(1) 1-14.
- 101 Kurt M., Benzer S. (2020) An investigation on the effect of STEM practices on sixth grade students' academic achievement, problem solving skills, and attitudes towards STEM, *Journal of Science Learning*, **3** 79-88.

Investigația științifică – strategie didactică pentru predarea Fizicii în învățământul preuniversitar
drd. Fabiola - Sanda Chiriacescu

- 102 Singh V., Sharma S.K. (2016) Analyzing the moderating effects of respondent type and experience on the fuel efficiency improvement in air transport using structural equation modeling, *European Transport Research Review*, **8**(2) 12.
- 103 Netemeyer R., Boles J., McMurrian R. (1996) Development and validation of work-family and family-work conflict scales, *Journal of Applied Psychology*, **81** 400-10.
- 104 Markworth K.A., Brobst J., Ohana C., Parker R. (2016) Elementary content specialization: models, affordances, and constraints, *International Journal of STEM Education*, **3**(1) 16.
- 105 Bernhardt E.A., Garrison C.M., Rasmussen N.F., Lanska J.T., Kuzyk M. G. (2018) An apparatus for measuring a material's photomechanical response; *American Journal of Physics*, **86**(12) 943–952.
- 106 Vallejo W., Diaz-Uribe C., Fajardo C. (2020) Do-it-yourself methodology for calorimeter construction based in Arduino data acquisition device for introductory chemical laboratories; *Helvion*, **6**(3) e03591.
- 107 **Chiriacescu F.**, Chiriacescu B., Miron C., Barna V., Berlic C. (2020) Arduino setup used as didactic tool for the dynamic study of torsion; *Proceedings of the 15th International Conference on Virtual Learning ICVL*, 475-480.
- 108 Ciucu C., Miron C., Barna V. (2009) *Lucrări practice – Mecanică fizică și acustică* (I), ediția a IX-a, Editura Universității din București.
- 109 French A.P., Newtonian Mechanics, M.I.T. (1971) *Introductory physics series*, W.W. Norton.
- 110 Hristev, A. (1982) *Mecanică și acustică*, Editura Didactică și Pedagogică, București.
- 111 Pantazi D., Dinu S., Voinea S. (2019) The smart aquaponics greenhouse – an Interdisciplinary Educational Laboratory; *Romanian Reports in Physics*, **71**(3) 902.
- 112 Aguilar-Marín P, Chavez-Bacilio M., Jáuregui-Rosas S. (2018) Using analog instruments in Tracker video-based experiments for understanding electricity and magnetism phenomena in physics education; *European Journal of Physics*, **39**(3) 035204.
- 113 Bonato J., Gratton L.M., Onorato P., Oss S. (2017) Using high speed smartphone cameras and video analysis techniques to teach mechanical wave physics; *Physics Education*, **52**(4) 045017.
- 114 Rodrigues M., Marques M.B., Simeão Carvalho P. (2015) How to build a low cost spectrometer with Tracker for teaching light spectra; *Physics Education*, **51**(1) 014002.
- 115 Rosi T., Malgieri M., Onorato P., Oss S. (2016) What are we looking at when we say magenta? Quantitative measurements of RGB and CMYK colours with a homemade spectrophotometer; *European Journal of Physics*, **37**(6) 065301.
- 116 De Jesus V.L.B., Haubrichs C., de Oliveira A.L., Sasaki D.G.G. (2018) A low-cost experiment to visualise the Fourier series: video analysis of a real plucked coiled spring; *European Journal of Physics*, **39**(2) 025704.
- 117 Brown D., Cox A.J. (2009) Innovative uses of video analysis; *The Physics Teacher*; **47** 145–50.
- 118 www.compadre.org/osp/webdocs/Tools.cfm?t=Tracker.
- 119 **Chiriacescu F.**, Chiriacescu B, Miron C., Barna V (2020) Using conceptual map for a better understanding of circular motion; *AIP Conference Proceedings*, **2218**(1) 060001.

- 120 Chiriacescu B., **Chiriacescu F.S.**, Miron C., Berlic C., Barna V. (2020) Arduino and Tracker video - didactic tools for study of the Kater pendulum physical experiment; *Romanian Reports in Physics*, **72**(1) 901.
- 121 Trocaru S., Berlic C., Miron C., Barna V. (2020) Using Tracker as video analysis and Augmented Reality tool for investigation of the oscillations for coupled pendula; *Romanian Reports in Physics*, **72**(1) 902.
- 122 **Chiriacescu F.**, Chiriacescu B., Miron C., Barna V., Berlic C. (2019) Cmap Tools and Tracker used for studying the harmonic oscillator; *In Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Learning*; Bucharest, 505 – 511.
- 123 <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>.
- 124 Real G.E., Florencia Jaure M., Vitali A.O. (2018) Data acquisition and industrial control system based on Arduino Due using open-source hardware and software; *XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAE)*; La Laguna, 2018, 1-7.
- 125 Chiriacescu B., **Chiriacescu F.S.**, Voinea S. (2021) Building and testing a wind turbine experimental kit for students; *Romanian Reports in Physics*, **73**(3) 905.
- 126 Chiriacescu B., **Chiriacescu F.S.**, Voinea S. (2020) Virtual and experimental aerodynamic study for student's lab, *Proceedings of the 115th International Conference on Virtual Learning ICVL*, 481-487.
- 127 Halliday D., Resnick R., Walker J. (2010) *Fundamentals of Physics Extended*, 9th Edition, Wiley.
- 128 A. P. French (2003) *Vibrations and Waves*; The M.I.T. Introductory Physics Series, CBS Publishers & Distributors.
- 129 Barna E.S., Ciucu C., Barna V., Miron C., Berlic C. (2010) *Lucrări practice Mecanică Fizică și Acustică*, Editura Universității din București, București.
- 130 Fajardo R.J. (1978) Acoustic resonance demonstration apparatus; *The Physics Teacher*, **16**(5) 313–316.
- 131 Barreiro N.L., Vallespi A.S., Zajarevich N.M., Peuriot A.L., Slezak V.B. (2017) Demonstration of acoustic resonances in a cylindrical cavity applying the photoacoustic technique; *European Journal of Physics*, **38**(5) 055805.
- 132 <https://www.audacityteam.org/>
- 133 Asbanu D.E., Babys U. (2017) The development of sound wave Audacity base learning media using ethnoscience approach of amanuban tribe to improve physics teacher candidates' science process skill; *International Journal of Science and Research*, **6**(11) 324-329.
- 134 Dias M.A., Carvalho P.S., Ventura D.R. (2016) How to study the Doppler effect with Audacity software; *Physics Education*, **51**(3) 035002.
- 135 Pramudya Y., Widayanti L., Melliagrina F. (2018) Frequency measurement of bonang barung and peking in javanese gamelan using Audacity; *Journal of Physics: Conference Series*, 1075, 012047.
- 136 Gómez-Tejedor J.A., Castro-Palacio J.C., Monsoriu J.A. (2014) Direct measurement of the speed of sound using a microphone and a speaker; *Physics Education*, **49**(3) 310–313.
- 137 Chiriacescu B., **Chiriacescu F.**, Miron C., Barna V. (2020) Whiteboard Animation – A tool for teaching the special theory of relativity, *American Institute of*

*Investigația științifică – strategie didactică pentru predarea Fizicii în
învățământul preuniversitar*
drd. Fabiola - Sanda Chiriacescu

Physics Conference Proceedings Series (AIP-CP), **2218**(1) 060006.

- 138 Chiriacescu B., **Chiriacescu F.**, Miron C., Barna V., Berlic C. (2019) Whiteboard Animation – a way to ease the understanding of special theory for the relativity principles consequences, *Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Learning*, 512 – 518.
- 139 <https://kdenlive.org/en/>
- 140 Velasco S., Román, F.L., González A., White J.A. (2004) A computer-assisted experiment for the measurement of the temperature dependence of the speed of sound in air; *American Journal of Physics*, **72**(2) 276–279.
- 141 R. Fitzpatrick (2017) *Oscillations and waves: an introduction*, 1st Edition, CRC Press.
- 142 Ouseph P.J., Link J.J. (1984) Variation of speed of sound in air with temperature; *American Journal of Physics*, **52**(7) 661–661.
- 143 Thurn C.M., Hänger B., Kokkonen T., (2020) Concept mapping in magnetism and electrostatics: core concepts and development over time; *Education Sciences*, **10**(5) 129.
- 144 Aşıksoy G. (2019) Computer-based concept mapping as a method for enhancing the effectiveness of concept learning in technology-enhanced learning, *Sustainability*, **11**(4) 1005.
- 145 Pangestuti A.A., Zubaidah S. (2017) The characteristics of concept maps developed by the secondary schools and university students; *First International Conference on Science, Mathematics, and Education, (ICoMSE 2017), Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 218.
- 146 Kinchin I.M., Möllits A., Reiska P. (2019) Uncovering types of knowledge in concept maps; *Education Sciences*, **9**(2) 131.
- 147 Stoica I., Moraru S., Miron C. (2011) Concept maps, a must for the modern teaching-learning process; *Romanian Reports in Physics*, **63**(2) 567–576.
- 148 Novak J.D., Bob Gowin D., Johansen G.T. (1983) The use of concept mapping and knowledge vee mapping with junior high school science students, *Science Education*, **67** (5) 625–645.
- 149 Novak J.D. (2002) Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners, *Science Education*, **86**(4) 548–571.
- 150 Zieneddine A., Abd-El-Khalick F. (2001) Doing the right thing versus doing the right thing right: Concept mapping in a freshmen physics laboratory, *European Journal of Physics*, **22**(5) 501.
- 151 Moyses D.D., Rivet J.L., Fahlman B.D. (2010) Using concept maps to teach a nanotechnology survey short course, *Journal of Chemical Education*, **87**(3) 285-290.
- 152 Martínez G., Pérez A.L., Suero M.I., Pardo P.J. (2013) The effectiveness of concept maps in teaching physics concepts applied to engineering education: experimental comparison of the amount of learning achieved with and without concept maps, *Journal of Science Education and Technology*, **22**(2) 204–214.
- 153 Maker C.J., Zimmerman R.H. (2020) Concept maps as assessments of expertise: understanding of the complexity and interrelationships of concepts in science; *Journal of Advanced Academics*, **31**(3) 254-297.
- 154 **Chiriacescu F.**, Chiriacescu B., Miron C., Barna V., Berlic C. (2021) Using

- conceptual maps and free open-source applications for seismology studies at high school level, *The 16th International Conference on Virtual Learning ICVL*, Bucharest, *Proceedings of the 16th International Conference on Virtual Learning ICVL*; 209-216.
- 155 Suprpto N., Suliyana Prahani B. K., Jauhariah M.N.R. & Admoko S. (2018) Exploring physics concepts among novice teachers through CMAP tools; *Journal of Physics: Conference Series*, **997** 012011.
- 156 Cziprok C.D., Miron M., Popescu F.F. (2013) Creating an integrative learning environment using conceptual maps in physics lessons, *The 9th International Scientific Conference eLearning and software for education*, Bucharest, april 25-26, **2**.
- 157 <https://www.tupitube.com/>
- 158 Marciuc D., Miron C., Barna E.Ș. (2016) Learning physics by building computer models – movements on inclined planes; *eLearning & Software for Education* 2016, **3**, 221-228.
- 159 Hyndman D. & Hyndman D., (2010). *Natural Hazards and Disasters*. (3rd ed.). Brooks Cole.
- 160 http://www.fotonsas.ro/principiu_avertizarii_seismice.htm
- 161 **Chiriacescu F.**, Chiriacescu B., Miron C. (2019) Didactic instrument developed in geogebra for the determination of the coordinates of an earthquake based on an inquiry based learning method, *Proceedings of the 15th International Scientific Conference "eLearning and Software for Education"*, **1** 481-488
- 162 Chiriacescu, B., **Chiriacescu, F.S.**, Barna, V., Miron, C. (2019) GeoGebra application, used in the determination of the magnitude of an earthquake, *11th World Conference on Educational Sciences (WCES-2019)*, February 07 – 10, Milano – Venice, Italy, 2019; *New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences*, **6**(1) 304–312
- 163 <http://www.infp.ro/>
- 164 <http://helitool.infp.ro/>
- 165 Havscov J., Bormann P., Schwitzer J. (2011) Seismic source location, In: Bormann, P. (Ed.), *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)*, Potsdam: Deutsches GeoForschungszentrum GFZ, 1—36.
- 166 Liang W.T., Chen K.H., Wu Y.F., Yen E., Chang C.Y. (2015) Earthquake school in the cloud: citizen seismologists in Taiwan, *Seismological Research Letters*, **87**(1) 177-185.
- 167 Sarao A., Clocchiatti M., Barnaba C., Zuliani, D. (2016) Using an Arduino seismograph to raise awareness of earthquake hazard through a multidisciplinary approach, *Seismological Research Letters*, **87**(1) 186-192.
- 168 Casal J.D. (2015) A didactic sequence on inquiry, modelling and creation of scientific knowledge on plate tectonics and continental drift, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, **12**(1) 186-197.
- 169 Krischer L., Aiman Y.A., Bartholomäus T., Donner S., van Driel M., Duru K., Garina K., Gessele K., Gunawan T., Hable S., Hadziioannou C., Koymans M., Leeman J., Lindner F., Ling A., Megies T., Nunn C., Rijal A., Salvermoser J., Soza S.T., Tape C., Taufiqurrahman T., Vargas D., Wassermann J., Wöelfl F., Williams M., Wolherr S., Igel H. (2018) Seismo-Live: An educational online library of Jupyter notebooks for

Investigația științifică – strategie didactică pentru predarea Fizicii în învățământul preuniversitar

drd. Fabiola - Sanda Chiriacescu

seismology, *Seismological Research Letters*, **89**(6) 2413-2419.

- 170 Chiriacescu B., **Chiriacescu F.**, Miron C., Barna V., Berlic C. (2021) The Garage Paradox Presented By Means Of Whiteboard Animation, *The 16th International Conference on Virtual Learning ICVL*, Bucharest, *Proceedings of the 16th International Conference on Virtual Learning ICVL*; 217-224.
- 171 Türkay S. (2016) The effects of whiteboard animations on retention and subjective experiences when learning advanced physics topics, *Computers & Education*, **98** 102-114.
- 172 Grigore I., Miron C., Barna E. S. (2017) Exploring Excel spreadsheets to simulate the projectile motion in the gravitational field, *Romanian Reports in Physics*, **69**(1) 901.
- 173 Mihalache B., Berlic C. (2018) Using Excel spreadsheets to study the vibrating string behavior; *Romanian Reports in Physics*, **70**(2) 901.
- 174 Bleotu P., Mihai L., Sporea D. (2019) Setup for quantum cascade lasers characterisation using the Labview programming environment; *Romanian Reports in Physics*, **71**(1) 901.