



UNIVERSITY OF BUCHAREST

Faculty of Physics

Doctoral School of Physics



Corina SEBE (RADU)

Strategii didactice pentru predarea unor noțiuni cu implicare directă în dezvoltarea curriculumului național la fizică

REZUMAT TEZĂ DOCTORAT

Comisia de îndrumare și integritate academică

Prof. univ. Dr. Gabriela IACOBESCU

Conf. univ. Cristina MIRON

Prof. univ. Dr. Valentin BARNA

Conducător științific

Prof. Emerit Dr. Ștefan ANTOHE

București, 2025

MULȚUMIRI

Adresez alese mulțumiri Domnului Prof. Univ. Dr. Ștefan ANTOHE, conducătorul tezei mele de doctorat care, prin dăruirea și pasiunea de care dă dovadă atât în munca de cercetător cât și în cea de profesor, mi-a oferit permanent sprijin, încurajare și sfaturi valoroase pe tot parcursul elaborării tezei de doctorat.

Mulțumesc de asemenea tuturor profesorilor din Corpul Profesoral al Școlii Doctorale de Fizică care și-au pus întregul talent pedagogic în slujba pregătirii celor care aspiră la titlul de doctor și de a căror îndrumare și sprijin, am beneficiat la rândul meu.

Cuprins	
INTRODUCERE – MOTIVARE	4
CAPITOLUL 1 – SONDAJE	6
1.1. Chestionar despre curriculum românesc de fizică la nivel liceal	6
1.2. Predarea și învățarea online - o paradigmă educațională	8
1.3. Concluzii ale sondajelor referitoare la programa națională la fizică	12
Bibliografie	12
CAPITOLUL 2 – CURRICULUM NAȚIONAL LA FIZICĂ - PERSPECTIVE ȘI ABORDĂRI NOI	14
2.1. Curriculum orientat către pregătirea pentru carieră și facultate	14
2.2. Noi strategii de a furniza educație	14
2.2.1. Învățarea față-în-față versus învățarea online	14
2.2.2. Integrarea educației STEM prin utilizarea telefonului mobil	15
Bibliografie	15
CAPITOLUL 3 – MĂSURĂRI EXPERIMENTALE CU TELEFONUL MOBIL	16
3.1. Studiul legii Lambert - Beer folosind smarphone-ul	17
3.1.1. Introducere	17
3.1.2. Baza teoretică	17
3.1.3. Metoda de lucru	18
3.2. Determinarea accelerației unui sistem de referință neinertial cu telefonul mobil	21
3.2.1. Introducere	21
3.2.2. Baza teoretică	22
3.2.3. Metoda de lucru	22
3.3. Verificarea legii lui Malus folosind telefonul mobil	27
3.3.1. Introducere	27
3.3.2. Baza teoretică	27
3.3.3. Metoda de lucru	29
3.4. Determinarea accelerației centripete folosind telefonul mobil	33
3.4.1. Introducere	33
3.4.2. Metoda de lucru	33
3.5. Concluzii	35
Bibliografie	36
CAPITOLUL 4 – Modele de predare a efectului fotovoltaic în structuri de generația a I-a și a III-a	37
4.1. Introducere	37
4.2. Motivație privind necesitatea dezvoltării cursurilor de fizică de liceu	37
4.3. Exemple de abordare a unor lecții de fizică de liceu despre celule fotovoltaice	40
Bibliografie	47
CONCLUZII GENERALE	49
CONTRIBUȚII PERSONALE	54

INTRODUCERE – MOTIVARE

Progresele tehnologice și provocările socio-economice și de mediu actuale impun schimbări structurale semnificative atât în ceea ce privește conținuturile cât și strategiile de predare, generând trecerea de la un conținut centrat pe manuale la un conținut multimodal, care integrează resurse multimedia precum videoclipuri, simulări, module interactive și realitate virtuală în materialele de predare și care introduc strategii inovatoare, cum ar fi metodele de instruire hibride, numite blended learning, o îmbinare de învățare față-în-față și online, metode ce oferă o experiență de învățare care este flexibilă și interactivă și care răspunde nevoilor elevilor contemporani, elevi care sunt nativi digitali. Această varietate îmbogățește experiența de învățare, făcând-o mai captivantă și mai accesibilă. Un alt aspect important, ce trebuie luat în considerare, este legat de conținutul cursurilor de fizică, care este necesar să fie îndreptat către nevoile actuale ale societății, astfel încât să fie redus decalajul dintre cunoștințele academice și aplicarea lor în lumea reală.

Pentru a menține educația relevantă și pentru a-i pregăti pe elevi pentru viitor, este deosebit de important să fie adaptat curriculum de fizică la liceu astfel încât acesta să încorporeze noi descoperiri și noi nevoi ale societății. De exemplu, în contextul crizei energetice actuale și al schimbărilor climatice cu consecințe dramatice asupra viitorului planetei, acest curriculum ar trebui să includă conținuturi privind sursele de energie regenerabilă și sustenabilă, în special cunoștințe despre modalitățile de producere și de stocare a energiei solare fotovoltaice, care este sursa de energie regenerabilă care, în ultimii ani, conform Agenției Internaționale pentru Energie (IEA), a avut cea mai rapidă rată de creștere între toate sursele de energie regenerabilă.

Pentru a culege informații privind proiectarea unui curriculum eficient din punctul de vedere al diverselor părți implicate în educația preuniversitară: elevi, studenți, profesori, părinți, au fost efectuate sondaje, considerate un instrument valoros pentru luarea deciziilor privind dezvoltarea curriculumului.

În acest context, lucrarea de față este structurată astfel:

Capitolul 1, intitulat “SONDAJE”, prezintă două sondaje, contribuție personală, care au fost publicate în reviste de specialitate. Primul sondaj, intitulat “Chestionar despre curriculum românesc de fizică la liceu”, cercetează opinia beneficiarilor direcți și indirecti ai sistemului educațional din România privind atât conținutul curriculumului național la fizică cât și ponderea diferitelor capitole din fizică în structura acestuia.

Al II-lea sondaj, intitulat “Predarea și învățarea online - O paradigmă educațională”, a fost publicat la sfârșitul anului școlar 2019 - 2020, atunci când, din cauza pandemiei COVID-19, s-a trecut de la învățarea față-în-față, în clasă, la învățarea online, acasă. Rezultatele chestionarului sunt prezentate în lucrarea [1] *Online Teaching and Learning - An Educational Paradigm*, **Radu, C**; Colt, M; and Antohe, I, 2020 *Proceedings of the 15th International Conference on Virtual Learning (ICVL-2020)*, pp.206-213, edited by Vlada, M; Albeanu, G; Adascalitei, A; Popovici, M.

Capitolul 2, intitulat “Curriculum Național la Fizică - Perspective și Abordări Noi”, argumentează necesitatea dezvoltării curriculumului național la fizică, astfel încât acesta să îi pregătească pe elevi pentru carieră și facultate, prezintă noi strategii de a furniza educația formală, punând accentul pe utilizarea telefonului inteligent ca laborator mobil de fizică, datorită senzorilor încorporați și datorită aplicațiilor specifice de fizică instalate pe acesta.

În acest sens, în **Capitolul 3** al tezei, intitulat “Măsurări experimentale cu telefonul mobil”, vor fi prezentate rezultatele a patru aplicații experimentale ce se bazează pe folosirea strategiei „mobile-learning” în procesul de studiere a fizicii, rezultate a caror valoare este confirmată de două lucrări publicate în reviste cotate ISI și anume: 1) *Integrating smartphone and hands-on activities to real experiments in physics*, Marilena COLȚ, **Corina RADU**, Ovidiu TOMA, Cristina MIRON, Vlad-Andrei ANTOHE, *Romanian Reports in Physics* **72**(4), 905 (2020) și 2) *Physics classes enhanced by smartphone experiments*, **Corina RADU**, Ovidiu TOMA, Ștefan ANTOHE, Vlad-Andrei ANTOHE, Cristina MIRON, *Romanian Reports in Physics* **74**, 908 (2022), aplicații publicate în literatura de specialitate și care reprezintă o contribuție personală la această lucrare. Prima aplicație se numește “Studiul legii Beer folosind telefonul mobil”. A II-a aplicație se numește “Determinarea accelerației unui sistem de referință neinertial cu telefonul mobil”. A III-a aplicație se numește “Verificarea legii lui Malus folosind telefonul mobil”. A IV-a aplicație se numește “Determinarea accelerației centripete folosind telefonul mobil”.

Capitolul 4 intitulat “Modele de predare a efectului fotovoltaic în diferite structuri de celule solare aparținând generației a I -a și a III -a” se bazează pe o lucrare de sinteză intitulată „*A critical review of the photovoltaic effect teaching in high-school*”, **Radu, C.**; Toma, O.; Antohe, I.; Miron, C.; Antohe, S. *Romanian Reports in Physics*, **76** (1) 901, (2024), DOI10.59277/RomRepPhys.2024.76.901. Acest capitol pornește de la un sondaj despre necesitatea introducerii în învățământul preuniversitar a unor lecții teoretice și practice despre noi surse de

energie regenerabilă cu accent pe celulele solare, care convertesc direct energia solară, practic inepuizabilă, în energie electrică, prin efect fotovoltaic.

Pornind de la concluzia acestui sondaj, aceea că este necesar să se învețe despre efectul fotovoltaic la nivel de liceu, se arată că studierea acestui efect a fost deja realizată în diferite forme, atât din punct de vedere teoretic cât și experimental. În acest sens, sunt prezentate modele de lecții teoretice și practice despre efectul fotovoltaic, lecții care au fost concepute pentru nivelul liceal, subliniindu-se impactul acestora asupra interesului elevilor și sunt prezentate strategii didactice de predare a unor noțiuni despre celulele fotovoltaice din generația a I-a, a-II-a și, respectiv, a III-a”.

Bibliografie

1. S. Khan, The one world schoolhouse, Hachette Book Group, 978-1-4555-0839-6 (2012).

CAPITOLUL 1 – SONDAJE

1.1. Chestionar despre curriculum românesc de fizică la nivel liceal

Trăim într-o lume din ce în ce mai digitală, cu o viteză extraordinară de schimbare a tehnologiei. Elevii și studenții de astăzi ar trebui să fie pregătiți pentru locuri de muncă ale viitorului care nici măcar nu pot fi imaginate, pentru tehnologii care nu sunt încă pe piață, pentru a putea fi capabili să găsească soluții la probleme care nu sunt încă prevăzute.

Pentru a sonda necesitățile educaționale ale societății românești, am făcut un sondaj privind curriculum românesc la fizică la nivel de liceu, numit „Questionnaire about Romanian Physics High School Curriculum” [2], adică „Chestionar privind programa de fizică de liceu în România”. Conform Fig. 1.1.1, această lucrare prezintă o cercetare calitativă, bazată pe un chestionar online realizat în rândul studenților care frecventează universitățile tehnice (aproximativ 61,4 % dintre respondenți), în rândul unor absolvenți ai unor universități tehnice (aproximativ 26,1 % dintre respondenți) sau în rândul unor absolvenți de liceu (aproximativ 12,5 % dintre respondenți), deci printre persoane interesate de tehnologie sau cu experiență personală în legătură cu aceasta. Chestionarul a fost rulat în perioada 1 octombrie și 10 noiembrie 2021. Acesta conține 5 întrebări închise. Metoda utilizată este eșantionarea intenționată.

Primul obiectiv al acestui sondaj a fost acela de a evalua ce domeniu din programa de liceu la fizică a fost cel mai puțin studiat în anii de liceu, în ciuda importanței sale mari în aplicații tehnologice de ultimă generație și în instrumente ce implică tehnologii avansate. Elevii au avut de ales dintre capitolele: mecanică, termodinamică, electromagnetism, optică, oscilații și unde, curent alternativ, fizică cuantică, semiconductori – tranzistori - circuite integrate, fizică nucleară.

Tehnologia modernă se bazează pe electronica de top și, în programa de liceu din România, există doar un mic capitol despre semiconductori, joncțiuni p-n, diode, tranzistori și circuite integrate, având conținutul în mare parte opțional și fiind studiată în clasa a XII-a, când elevii sunt axați pe bacalaureat și admiterea la facultate, dar neavând nicio importanță pentru nici unul dintre aceste două examene. Prin urmare, am presupus că „Semiconductori, tranzistori și circuite integrate” va fi considerat de majoritatea respondenților drept capitolul pe care nu l-au studiat atât de mult cât și-ar fi dorit. Rezultatul a fost în concordanță cu ipoteza de lucru: aproximativ un sfert dintre ei (23,9 %) au ales electronica ca fiind cea parte a programei de liceu care ar trebui studiată mai aprofundat. Prin urmare, am ajuns la concluzia că este nevoie de creșterea ponderii studiului electronicii în liceu pentru acei elevi interesați de tehnologie.

Al doilea obiectiv al sondajului a fost acela de a evalua dacă respondenții consideră că programa actuală de fizică la liceu ar trebui actualizată atât din punct de vedere al conținutului său, cât și al ponderii fiecărui capitol pentru a explica și înțelege noile tehnologii. Toți respondenții au fost în favoarea actualizării curriculumului și a reconsiderării ponderii fiecărui capitol: 46,6% au fost total de acord, 35,2% au fost de acord și 18,2% au fost ușor de acord cu acesta.

Având în vedere amenințările aduse de schimbările climatice, al III-lea obiectiv al sondajului a fost o cercetare privind necesitatea includerii unui capitol despre resursele de energie regenerabilă și durabilă în programa națională de fizică la liceu și am presupus că respondenții ar fi de acord cu acest lucru. Rezultatul a fost în concordanță cu ipoteza de lucru: 62,5% dintre respondenți l-au considerat foarte important, 28,4% l-au considerat important și 9,1% l-au considerat ușor important. Niciunul dintre ei nu a fost împotriva.

Având în vedere importanța energiei solare, al patrulea obiectiv al sondajului a fost acela de a evalua dacă respondenții consideră că tema celulelor fotovoltaice ar trebui inclusă în programa națională de fizică la liceu. Ipoteza corespunzătoare a fost că energia solară și celulele fotovoltaice sunt concepte de mare importanță, cu un potențial de impact imens asupra vieților noastre, iar

respondenții ar considera studiul lor ca fiind benefic. Rezultatul a fost în concordanță cu ipoteza de lucru.

Al cincilea obiectiv a fost acela de a evalua dacă ar fi de dorit ca elevii de liceu să aibă posibilitatea de a urma, la alegere, un curs de fizică opțional care să le ofere cunoștințe superioare pentru a se adapta mai bine la cerințele unei facultăți tehnologice și care le-ar putea oferi, pe baza rezultatelor obținute la o examinare finală a acestui curs, echivalarea unor cursuri de fizică la facultate în timpul primului an universitar [5-8]. Rezultatul a fost că 62,5% dintre ei au considerat a fi foarte bun un astfel de curs opțional de fizică și 34,1% l-au considerat bun.

În concluzie, conform rezultatelor acestui sondaj [2], programa națională de liceu la fizică ar trebui să fie adaptată la noile tehnologii și să le ofere elevilor cunoștințele, abilitățile, atitudinile și valorile necesare pentru a face față provocărilor actuale și viitoare. De asemenea, modernizarea strategiilor de furnizare a educației este esențială pentru a răspunde provocărilor și cerințelor unei lumi în continuă schimbare.

1.2. Predarea și învățarea online - o paradigmă educațională

Dezvoltarea internetului și a tehnologiilor media au adus cu sine posibilitatea de a remodela metodele de a furniza educație, de la educația ce se desfășoară în clasă, față în față, la cea online. Mulți specialiști în educație au luat în considerare avantajele și dezavantajele predării și învățării online [10-11]. Pentru a utiliza metode de predare și de învățare cât mai eficiente, este necesar să se facă un studiu al satisfacției și al așteptărilor elevilor. În acest scop, a fost realizat un sondaj, denumit “Online Teaching and Learning - An Educational Paradigm”, adică “Predarea și învățarea online – O paradigmă educațională”, sub forma unei cercetări calitative, care folosește rezultatele unui chestionar online realizat în rândul elevilor de liceu în iunie 2020, elevi care au făcut cursuri online din cauza stării de urgență cauzată de pandemia Covid-19 din România [17]. Rezultatele acestui studiu sunt reprezentative pentru elevi din școli urbane, care provin din familii cu nivel economic mediu și peste mediu. Metoda de eșantionare utilizată este eșantionarea intenționată. La chestionar au participat 355 de elevi, 186 dintre aceștia fiind înscriși la școala secundară inferioară, cea care corespunde gimnaziului, adică claselor V – VIII, iar 169 dintre aceștia fiind înscriși la școala secundară superioară, cea care corespunde liceului, adică claselor IX – XII în cazul liceelor teoretice sau claselor IX – XIII în cazul liceelor tehnologice. Ei au răspuns la 11 întrebări închise.

Primul obiectiv al acestui sondaj a fost să se evalueze dacă distanțarea fizică dintre profesori și elevi în perioada forțată a lecțiilor online a adus cu sine și o barieră de comunicare între aceștia. Ipoteza corespunzătoare acestui obiectiv a fost că lipsa interacțiunii față în față ar diminua comunicarea profesor-elev. Rezultatul a fost diferit: 41,4% dintre respondenți au apreciat comunicarea profesor-elev ca fiind foarte bună și 52,7% au considerat-o bună. Prin urmare, am ajuns la concluzia că, indiferent de distanțarea fizică, educația online nu ridică o barieră de comunicare între profesor și elevii săi, ci, dimpotrivă, este posibil să îmbunătățească interacțiunea și cooperarea profesor - elev.

Al doilea obiectiv a fost de a evalua gradul de satisfacție cu privire la lecțiile desfășurate online în raport cu lecțiile desfășurate în clasă. Având în vedere că elevii de gimnaziu sau de liceu au nevoie de interacțiune față în față pentru a se dezvolta normal, ipoteza corespunzătoare acestui obiectiv a fost că un procent redus dintre ei ar considera o alegere bună să înlocuiască cursurile desfășurate în clasă cu cele desfășurate online. Rezultatul a fost în concordanță cu ipoteza: 64,2% dintre ei au apreciat că, doar într-o mică măsură, educația online poate înlocui educația în clasă, 22,8% au considerat că educația online și cea din clasă sunt la fel de eficiente, 8,4% din ei au considerat că educația online poate înlocui într-o mare măsură educația în clasă, iar 4,6% dintre ei au considerat că educația online este mai bună decât educația în clasă.

Al treilea obiectiv a fost de a descoperi ce aspecte ale predării și învățării online sunt preferate de către elevi. Ipoteza de lucru a fost că majoritatea elevilor ar prefera să studieze în ritmul propriu prezentarea online a subiectelor. Rezultatul a fost în concordanță cu ipoteza noastră: 45,9% dintre elevi ar prefera să studieze documente, prezentări PowerPoint sau prezentări video în ritmul propriu, 26,5% ar prefera să lucreze zilnic pe o platformă online, urmând același program ca în învățământul tradițional desfășurat în clasă, 15,2% ar dori să urmărească înregistrarea lecțiilor predate de profesorii lor și 12,4% ar prefera un proiect de grup pentru a studia singuri un subiect, pe care apoi să îl împărtășească cu restul clasei.

Al patrulea obiectiv a fost de a evalua percepția elevilor cu privire la înlocuirea experimentelor reale de laborator cu experimente virtuale, prin utilizarea platformelor interactive de simulare. Fiind cunoscut faptul că este foarte greu să creezi o alternativă la cursurile care implică aspecte practice, ipoteza de lucru a fost că majoritatea elevilor ar considera că simulările nu pot înlocui în mod corespunzător experimentele reale. Rezultatul a fost în concordanță cu

ipoteza de lucru: 50,8% dintre ei au răspuns că simulările nu pot înlocui experimentele reale, iar 40,4% au considerat că simulările pot înlocui experimentele reale, dar într-o mică măsură.

Am concluzionat că importanța laboratorului traditional, care implică experimente practice reale, în care măsurările științifice se realizează direct, nu a scăzut ca urmare a creșterii numărului de experimente de simulare computerizată.

Al cincilea obiectiv a fost de a afla dacă, atunci când efectuează experimente, elevii s-ar simți stimulați să-și folosească propriile smartphone-uri ca dispozitive de măsurare în locul echipamentelor clasice de laborator. Deoarece elevii sunt foarte atașați de utilizarea smartphone-urile lor, am presupus că majoritatea ar dori să-și folosească smartphone-urile ca instrumente de măsură. Ipoteza de lucru a fost corectă: într-o măsură mai mare sau mai mică, un total de 54,6% dintre elevii au fost dispuși să-și folosească smartphone-urile ca instrumente de laborator. Procentul mare, de 45,4%, al celor care consideră că smartphone-urile nu pot înlocui echipamentele clasice de laborator arată că mobile learningul ar putea fi o extensie a experimentelor practice, dar nu le poate înlocui pe deplin.

Al șaselea obiectiv a fost de a afla gradul de satisfacție pe care l-au avut respondenții cu privire la sarcinile lor de studiu din timpul învățării online din timpul pandemiei Covid. Aproximativ 92% dintre elevi au apreciat sarcinile de studiu pe care le-au primit în perioada învățării online, atribuindu-le una dintre următoarele categorii: utile, atractive sau corespunzătoare și doar aproximativ 8% dintre ei le-au evaluat negativ, ca fiind inadecvate și neatractive. Doar 11.8% le-au considerat atractive. Am concluzionat că sarcinile de lucru pe care elevii le-au primit în timpul perioadei online de învățare nu au reușit să le stârnească curiozitatea și să creeze un mediu academic cu adevărat motivant, dar au fost suficient de bine gândite pentru a fi evaluate, în marea lor majoritate, ca fiind utile și adecvate.

Al șaptelea obiectiv a fost de a evalua disponibilitatea acestora pentru flipped classes, adică de a evalua în ce măsură elevii sunt dispuși să învețe noile concepte singuri, folosind resurse online, iar apoi, la întâlnirea față în față cu profesorii lor, să își lămurească neclaritățile. Ipoteza de lucru a fost că nu vor fi dispuși să-și asume să învețe singuri toate conceptele noi, mai ales pe acelea având un grad ridicat de dificultate, dar că majoritatea vor alege să le învețe singuri pe cele mai ușoare. Ipoteza de lucru a fost invalidată de răspunsurile lor: 53,8% dintre respondenți au spus că ar prefera ca profesorii lor să îi învețe noile concepte, indiferent de gradul lor de dificultate.

Cel de-al optulea obiectiv a fost de a evalua în ce măsură elevii de gimnaziu ar fi dispuși să participe în viitor la cursuri mixte, blended classes, care să se desfășoare parțial față în față și parțial online [18]. Ipoteza de lucru a fost că majoritatea elevilor ar fi de acord cu această variantă. Răspunsurile lor nu au fost în acord cu ipoteza de lucru: 51% dintre respondenți nu ar dori ca în viitor activitatea online să facă parte din practicile educaționale, deoarece consideră că activitatea față în față este superioară activității online.

Al nouălea obiectiv a fost să aflăm ce aspect al activității online a fost cel mai interesant pentru elevii noștri. Ei au trebuit să aleagă dintre următoarele atribute: accesibilitate ușoară prin intermediul platformelor online, diversitate a resurselor digitale, flexibilitate, utilitate, implicare și plăcere în utilizarea acestora sau nimic. Ipoteza de lucru a fost că majoritatea ar aprecia cel mai mult flexibilitatea învățării online, deoarece procesul are loc în locuința lor, deci în zona lor de confort. Rezultatul a fost în concordanță cu ipoteza noastră: 52,4% apreciază educația online în primul rând pentru flexibilitatea sa. Am concluzionat că motivul principal care face învățarea online atrăgătoare pentru elevi este confortul pe care aceasta îl aduce cu sine.

Al zecelea obiectiv a fost de a afla părerea elevilor despre eficiența învățării online. Având în vedere că respondenții provin din familii de nivel economic mediu și peste mediu și că aceștia frecventează școli capabile să le ofere educație online, am presupus că vor evalua activitatea online ca o metodă educațională eficientă. Rezultatul a fost în concordanță cu ipoteza de lucru: 64,8% au apreciat educația online ca fiind eficientă, iar 11% au evaluat-o ca fiind foarte eficientă. Am concluzionat că transferul de cunoștințe și formarea competențelor în circumstanțele date de învățarea forțată online din cauza izbucnirii Covid-19 au fost percepute de către elevii respondenți ca fiind eficiente.

Ultimul obiectiv a fost de a afla cât timp au petrecut elevii cu studiul online. Ipoteza de lucru a fost că marea majoritate a petrecut mai mult de 15 ore pe săptămână participând la cursuri online, dar, răspunsurile lor au fost incompatibile cu presupunerea noastră: 87% au petrecut mai puțin de 15 ore pe săptămână studiind online. Am concluzionat că elevii respondenți petreceau mult mai puține ore pe zi să învețe online decât atunci când învățau în clasă.

1.3. Concluzii ale sondajelor referitoare la programa națională de fizică

Preocupările, idealurile și obiectivele elevilor se schimbă în timp, așa că este evident că noi strategii sunt necesare în educație. Respondenții primului sondaj, numit „Questionnaire about Romanian Physics High School Curriculum”, persoane cu experiență personală legată de studiul fizicii conform programei naționale actuale, consideră că programa de fizică la liceu nu acoperă subiecte contemporane importante, legate de dezvoltarea tehnologiei în zilele noastre. Toți respondenții au optat pentru actualizarea subiectelor din programa națională la fizică și, de asemenea, pentru modificarea ponderii acestor subiecte. Toți au fost interesați să fie studiate resursele de energie regenerabilă și durabilă, iar marea lor majoritate, în jur de 90%, au fost pentru studierea celulelor fotovoltaice. Toți au considerat utilă oportunitatea de a fi urmate cursuri opționale de fizică în timpul liceului pentru a fi aprofundate cunoștințele de fizică și pentru a fi ușurat parcursul universitar.

Una dintre principalele întrebări la care educația încearcă să răspundă în acest moment este dacă și cum eLearning poate oferi astăzi o alternativă viabilă la învățarea tradițională în clasă/on-campus într-un context educațional caracterizat de învățarea online forțată din cauza pandemiei Covid-19, de fluiditatea rolurilor elev-profesor, de învățarea centrată pe elev și de necesitatea practicii și a învățării pe tot parcursul vieții [19].

Pe baza răspunsurilor date de respondenți, învățământul tradițional, ce se desfășoară în clasă, nu ar trebui să fie înlocuit în totalitate de învățământul online, deoarece un curs online nu poate înlocui pe deplin contactul personal cu profesorii sau colegii de clasă. Astfel, învățarea online ar trebui să fie mai degrabă o extensie a învățării în clasă și nu să o înlocuiască complet. Atât educația online, cât și cea tradițională au punctele lor forte și punctele lor slabe. Educația online oferă o mai mare flexibilitate și accesibilitate, în timp ce educația tradițională oferă mai multă interacțiune față în față și un mediu de învățare structurat. Cea mai bună alegere pentru o persoană depinde de preferințele sale personale, de stilul de învățare și de obiectivele educaționale specifice. În unele cazuri, o abordare hibridă, care combină elemente ale educației online și tradiționale, poate fi, de asemenea, o opțiune viabilă.

Bibliografie

1. [https://www.oecd.org/education/2030/e2030%20position%20paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/e2030%20position%20paper%20(05.04.2018).pdf)

2. C. Radu, Questionnaire About Romanian Physics High School Curriculum, AIP Conf. Proc. **2843**(1), 050012 (2023).
3. N. Dina, S Craciun, M Bulgariu and S Antohe, "Teaching of alternative energy sources in Romanian school," Romanian Reports in Physics **64**, 868-877 (2012).
4. C. G. Bostan, N. Dina, M. Bulgariu, S. Craciun, M. Dafinei, C. Chitu, I. Staicu, S. Antohe, "Teaching/Learning photovoltaic effect in high school," Romanian Reports in Physics **63**, 543-556 (2011).
5. F Iofciu, C. Miron, M. Dafinel, A. Dafinei, S Antohe, "Murphy - multimedia tool for advanced physics concept approach: giant magnetoresistance (gmr)," Romanian Reports in Physics, **64**, 841-852, (2012).
6. C. Kuncser, A. Kuncser, G. Maftai, S. Antohe, "Computer assisted methods in teaching basics of magnetism at high school level," Romanian Reports in Physics, **64**, 1119-1130, (2012).
7. C. Kuncser, A. Kuncser, S. Antohe, "Learning by scientific and experimental reasoning: practical prominence of errors and their elimination in total interference contrast microscopy," **64**, 143-154, (2012).
8. C. Kuncser, A. Kuncser, S. Antohe, "A didactical perspective on the application of the magneto-optic Kerr effect in versatile studies of modern magnetic materials," Romanian Reports in Physics, **64**, 743-753, (2012).
9. F Iofciu, C. Miron, S Antohe, "Studying advanced science concepts using constructivist strategies in middle and high school," Romanian Reports in Physics, " **65**, 591-606, (2013).
10. Pamfilie R., Onete B., Maiorescu I., Pleșea D. (2012) E-Learning as an Alternative Solution for Sustainable Lifelong Education. Procedia - Social and Behavioral Sciences **46**, 4026-4030.
11. Raja R., Nagasubramani P. C. (2018) Impact of modern technology in education. Journal of Applied and Advanced Research **3**, 1, 33–35.
12. Volery T. (2000) Critical success factors in online education. International Journal of Educational Management **14**, 216-223.
13. Mayest T., de Freitas S. (2004): Review of e-learning theories, frameworks and models. Technical report: London: Joint Information Systems Committee.
14. Ding L., Beichner R. (2009) Approaches to data analysis of multiple-choice questions. Special Topics Physical Review Physics Education Research **5**, 020103.
15. Gallie K., Joubert D. M. (2004) Paradigm shift: From traditional to online education. Studies in Learning, Evaluation, Innovation and Development **1**, 1, 32-36.
16. Dhawan S., (2020) Online Learning: A Panacea in the Time of COVID-19 Crisis. Journal of Educational Technology Systems **49**, 1, 5-22.
17. C. Radu, M. Colt, I. Antohe, Online Teaching and Learning - An Educational Paradigm, 15th International Conference on Virtual Learning ICVL-ISI Proceedings, **23**, 206-213, ISSN: 1844-8933 (2020).
18. Thorne, K. (2003): Blended Learning How to Integrate Online and Traditional Learning, ISBN 0 7494 3901 7, Kogan Page Limited.
19. London M. & co., The Oxford Handbook of Lifelong Learning, ISBN 9780197506738, Oxford University Press.
20. Mouzakitis G., Tunkay N., E-Learning and lifelong learning, Turkish Online Journal of Distance Education-TOJDE January 2011 ISSN 1302-6488 Volume: 12 Number: 1 Article 9.

CAPITOLUL 2 – CURRICULUM NAȚIONAL LA FIZICĂ - PERSPECTIVE ȘI ABORDĂRI NOI

2.1. Curriculum orientat către pregătirea pentru carieră și facultate

Într-o lume complexă și imprevizibilă, umanitatea se confruntă cu numeroase provocări care necesită o considerare atentă și soluții inovatoare. În fața acestor provocări, este esențial să fie găsite abordări integrate, bazate pe știință, care să asigure un viitor sustenabil. O educație performantă reprezintă cheia pentru a naviga în complexitățile și incertitudinile lumii moderne, de a forma adulți informați, adaptabili la schimbări și implicați social.

2.2. Noi strategii de a furniza educație

2.2.1. Învățarea față-în-față versus învățarea online

Nevoia de flexibilitate în educație a devenit din ce în ce mai evidentă în lumea de astăzi, care este într-o evoluție extraordinar de rapidă. Îmbinarea învățării în clasă cu învățarea online, numită “blended learning”, mediată de computer, abordează această nevoie, oferind o abordare echilibrată, care se adaptează la o varietate de preferințe de învățare, programe și circumstanțe individuale. Conform lui Charles Graham [9], evoluția rapidă a tehnologiei digitale a avut un impact foarte mare asupra posibilităților de învățare distribuită prin platformele online, oferind acces la materiale de învățare și facilitând interacțiunea dintre elevi/studenți, profesori și conținutul educațional, independent de locație sau de timp.

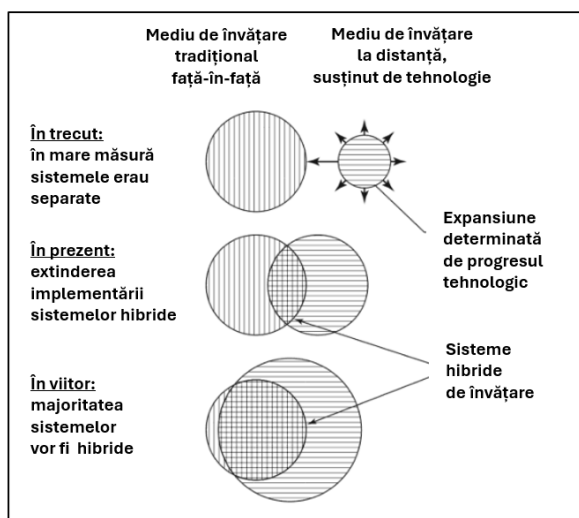


Fig. 2.2.1. Convergența progresivă a mediului de învățare tradițional față-în-față cu cel mediat de computer, ducând la învățarea hibridă, numită blended learning [9]

Odată cu progresele în tehnologie și convergența instrumentelor și metodelor online, granița dintre aceste două moduri de învățare a devenit mai fluidă. Multe abordări educaționale moderne încorporează acum elemente atât din învățământul tradițional, cât și din învățământul la distanță pentru a crea medii de învățare mixte, blended learning, care combină punctele forte ale ambelor abordări. Astfel, conform Fig. 2.2.1, metodele educaționale vor evolua spre o creștere a poderii învățării la distanță și a sistemelor de învățare hibride [9].

2.2.2. Integrarea educației STEM prin utilizarea telefonului mobil

Educația STEM promovează învățarea prin proiecte și experimente reale, care îi ajută pe elevi să aplice teoria în contexte practice. Apariția telefonului mobil a schimbat profund modul în care interacționăm cu alte persoane și modul în care obținem informațiile.

Faptul că smartphone-urile și tabletele, datorită senzorilor încorporați, au capacitatea de a înregistra și de a procesa simultan date, furnizând reprezentări multiple și complementare, cum ar fi înregistrări de baze de date, reprezentări grafice și imagini video ale unui proces studiat, le face instrumente extrem de utile pentru a preda fizica. Utilizarea tehnologiei mobile în educația STEM lărgeste gama experimentelor ce pot fi efectuate atât în laborator cât și în afara acestuia, necesitând uneori un budget mai mic, mai puțin efort și un timp de pregătire mai redus decât în cazul experimentelor convenționale. Astfel, utilizarea tehnologiilor mobile într-o abordare hands-on a predării fizicii, prin efectuarea de măsurări conectate la realitatea înconjurătoare, completează alegerea dispozitivelor de predare a fizicii într-un mod contextualizat, modern și autentic, stimulând gândirea critică și învățarea transdisciplinară, aduce cu sine creșterea interesului elevilor pentru știință și are un impact pozitiv asupra rezultatelor cognitive și afective ale elevilor [11-12].

Bibliografie

1. D. Boroch, L. Hope, Effective Practices for Promoting the Transition of High School Students to College: A Review of Literature with Implications for California Community College Practitioners, Eric ED519286 (2009).
2. G. Bottoms, How to Transform High School? Let Academics and Career Skills Join Forces, *Educational Leadership*, v79 n8 p31-37 May (2022).
3. G. Karaarslanab, G. Teksöz, Integrating Sustainable Development Concept into Science Education Program is not enough; We Need Competent Science Teachers for Education for Sustainable Development – Turkish Experience, *International journal of environmental & science education*, vol. 11, no.15, 8403-8424 (2016).

4. S. Engström, P. Gustafsson, H. Niedderer, Content for teaching sustainable energy systems in physics at upper secondary school, International Journal of Science and Mathematics Education, Springer (2011).
5. A. Friend, Implementing the next generation science and engineering practices into a middle school classroom, Hamline University, Saint Paul, Minnesota (2022).
6. S. Chappell Moots, J. Garner, M. Loney, Broadening participation in STEM through high school physics, Old Dominion University, Norfolk, Virginia, USA (2022).
7. B. H. Khan, In book: Challenges and Opportunities for the Global Implementation of E-Learning, Chapter: A Global Framework for E-Learning, DOI:10.4018/978-1-7998-7607-6.ch001, January (2021).
8. M. Mathera, A. Sarkans, Student Perceptions of Online and Face-to-Face Learning, International Journal of Curriculum and Instruction 10(2) 61–76 (2018).
9. C. Bonk, C. Graham, The Handbook of Blended Learning: Global Perspectives, Local Designs, ISBN-13: 978-0-7879-7758-0, Pfeiffer books (2006).
10. D. Buongiorno, M. Michellini, Experimental use of mobile apps in physics education, DOI: 10.1478/AAPP.99S1A22 (2021).
11. L. Darmendrail, A. Gasparini, A. Müller, Mobile devices as experimental tools in physics education: some historical and educational background, arXiv, Cornell University, Physics > Physics Education, DOI:10.48550/arXiv.2303.07294 (2023).
12. A. Fathurohman, A. F. Oklilas, L. Marlina, L. A. Kurdiati, E. Susiloningsih, A. Azhar, S. Samsuryadi, Effectiveness of Using the Mobile Learning App for STEMBased High School Physics Materials as Indonesian Student Learning Resources on Learning Outcomes, DOI: 10.29303/jppipa.v9i3.2991 (2023).
13. P. Vogt, J. Kuhn, and S. Müller, Experiments Using Cell Phones in Physics Classroom Education: The Computer Aided g-Determination. Physics Teacher 49, 383–384 (2011).

CAPITOLUL 3. MĂSURĂRI EXPERIMENTALE CU TELEFONUL MOBIL

În acest capitol sunt prezentate patru experimente efectuate la costuri foarte reduse, folosind materiale ușor accesibile: (1) studiul legii Lambert - Beer folosind o soluție de apă și cerneală roșie, (2) determinarea accelerației unui lift, considerat sistem de referință neinertial, (3) studiul polarizării luminii prin verificarea legii lui Malus și (4) determinarea accelerației centripete a unui corp, telefonul mobil, ce se rotește pe un disc dintr-un loc de joacă pentru copii.

Experimentele au fost efectuate în afara laboratorului clasic de fizică și au fost realizate cu ajutorul telefonului mobil inteligent, folosind aplicația Phyphox (Physical Phone Experiments) [6].

Phyphox este o aplicație mobilă care transformă un smartphone obișnuit într-un laborator portabil, utilizând senzorii încorporați în telefonul mobil pentru a măsura parametrii care caracterizează o mișcare accelerată, prezența unui sunet, prezența unui fascicul de lumină, prezența

unui câmp magnetic sau exercitarea unei forțe de presiune. Această strategie hands-on a demersului educațional stimulează curiozitatea, implicarea activă și învățarea prin descoperire.

3.1. STUDIUL LEGII LAMBERT - BEER FOLOSIND SMARTPHONE-ul

3.1.1. Introducere

Legea Lambert - Beer se ocupă de modul în care intensitatea luminii scade pe măsură ce trece printr-un mediu, în urma absorbției de către moleculele mediului pe care îl străbate. În cazul unei soluții, această interacțiune este descrisă de ecuația legii Lambert - Beer (2), care leagă absorbanta luminii corespunzătoare fiecărei lungimi de undă de concentrația soluției și de grosimea materialului, grosime ce corespunde lungimii drumului parcurs.

3.1.2. Baza teoretică

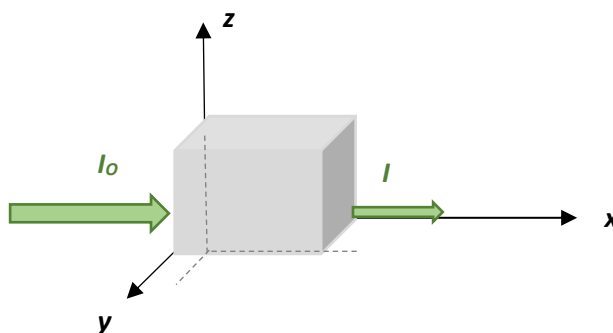


Fig. 3.1.1 – Absorbția luminii

Astfel, în ceea ce privește absorbția luminii de către o probă care conține o singură specie atenuantă de concentrație uniformă, absorbanta luminii este direct proporțională cu concentrația absorbantului și cu distanța parcursă de lumină prin eșantion. Mărimea fizică numită absorbanta este o măsură directă a cantității de lumină care este absorbită de o probă. Absorbanta este definită de ecuația (3.1.1) și poate fi legată de transmitanța T a materialului:

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} = -\log_{10} T \quad (3.1.1)$$

Conform legii Lambert - Beer, absorbanta este dată de ecuația:

$$A = \varepsilon(\lambda) \cdot c \cdot d \quad (3.1.2)$$

- coeficientul ε , specific fiecărei substanțe absorbante și fiecărei lungimi de undă, numit absorbtivitate molară sau coeficient molar de atenuare, reprezintă absorbanta unei soluții pe unitatea de concentrație și pe unitate de distanță parcursă de lumină prin eșantion.
- c - concentrația molară sau molaritatea absorbantului, reprezintă numărul de moli de absorbant din unitate de volum de soluție.

$$c = \frac{n}{V} = \frac{m}{M} \cdot \frac{1}{V} = \frac{N}{N_A} \cdot \frac{1}{V} \quad (3.1.3)$$

- d este distanța parcursă de lumină prin soluție.

În ecuația (3.1.3), n este cantitatea de substanță (numărul de moli), m este masa de substanță, M masa molară a absorbantului, N este numărul de particule de absorbant prezente în volumul V de soluție, iar N_A este numărul lui Avogadro.

3.1.3. Metoda de lucru

Acesta este un experiment de colorimetrie, care leagă concentrația unei soluții de absorbanta corespunzătoare unei anumite lungimi de undă ce străbate soluția respectivă. Lumina din laborator este reflectată de o foaie de hârtie verde lipită pe un perete vertical și apoi trece printr-un recipient transparent din sticlă, care conține o soluție de apă și cerneală roșie. Cerneala roșie absoarbe lumina verde din spectrul vizibil. Acest lucru se întâmplă deoarece percepem culoarea roșie în principal ca rezultat al reflexiei și transmisiei luminii roșii, în timp ce alte culori (cum ar fi verdele și albastrul) sunt absorbite. Un colorant roșu are un spectru de absorbție specific, iar acesta arată în mod caracteristic o absorbție ridicată în partea verde a spectrului. Aceasta este cauza pentru care apare roșu: culoarea complementară a luminii absorbite este ceea ce percepem vizual.

Cu ajutorul aplicației Color Detector din Google Play, au fost înregistrate valorile G ale luminii care trece prin diferite concentrații de amestec de apă și cerneală roșie. Valorile G se referă la componenta verde a modelului de culoare **RGB** (**R**ed - roșu, **G**reen - verde, **B**lue - albastru) utilizat în imagistica digitală. Când analizează culoarea luminii care trece prin diferite concentrații de soluție, aplicația Color Detector descompune culoarea în componentele sale RGB. Valorile RGB sunt utilizate în mod obișnuit pentru a reprezenta culorile în dispozitivele digitale, unde fiecare culoare este specificată prin trei numere întregi cuprinse între 0 și 255, corespunzătoare

intensității componentelor roșii, verzi și, respectiv, albastre ale culorii luminii. Valoarea G indică în mod specific intensitatea culorii verzi în culoarea detectată.

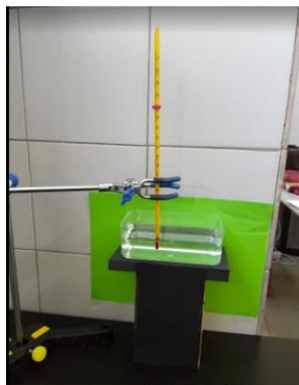


Fig. 3.1.2 a)



Fig. 3.1.2 b)



Fig. 3.1.2 c)

Fig. 3.1.2 a) Apă plată într-un vas transparent și hârtie colorată verde pe perete

Fig. 3.1.2 b) Cerneală roșie

Fig. 3.1.2 c) Amestec format din apă și cerneală roșie. Hârtie colorată verde, lipită pe perete

Recipientul a fost umplut cu un volum $V_{apă} = 300 \text{ ml}$ de apă, apoi a avut loc prima citire a valorii G. Aceasta a corespuns valorii I_o a intensității luminii, care nu a fost atenuată de prezența cernelei roșii în apă. Apoi a fost adăugată o cantitate de cerneală roșie de volum este $V_o = 5 \text{ ml}$.

La fiecare nouă citire a valorilor G, a mai fost adăugată o cantitate de cerneală roșie de volum $V_o = 5 \text{ ml}$, astfel încât, la a k-a citire a valorilor G, volumul de cerneală adăugat este:

$$V_k = (k - 1) \cdot V_o, \quad k \in (1, 11).$$

În continuare, a fost determinată concentrația molară pentru fiecare măsurare a valorii G. Deoarece la prima măsurare a valorilor G nu a fost pusă cerneală roșie în apă, concentrația acesteia la prima măsurare a fost nulă, iar, la a doua măsurare, a fost:

$$c_1 = \frac{n_0}{V_{water} + V_o} = \frac{N_0}{N_A(V_{water} + V_o)} = \frac{n_0}{V_{waer} \left(1 + \frac{V_o}{V_{water}} \right)} \quad (3.1.4)$$

unde n_o este numărul de moli în $V_o = 5 \text{ ml}$ de cerneală roșie.

$$V_o \ll V_{water} \Rightarrow c_1 \cong \frac{n_0}{V_{water}} \quad (3.1.5)$$

Expresia concentrației molare a cernelei roșii la cea de-a k măsurare este:

$$c_k = \frac{(k-1) \cdot N_0}{N_A \cdot (V_{water} + V_0)} = \frac{(K-1) \cdot n_0}{V_{water} \cdot \left(1 + \frac{V_0}{V_{water}}\right)} \cong \frac{(k-1) \cdot n_0}{V_{water}} = (k-1) \cdot c_1 \quad (3.1.6)$$

$$c_k = (K-1) \cdot c_1; k \in \{1, 11\}$$

Valorile G din coloana a III-a a Tabelului 1 corespund intensității luminii verzi ce a fost transmisă prin apa din vas, pentru diferite concentrații de cernelă roșie dispersată în apă.

$$A = \log_{10} \frac{G_0}{G} \quad (3.1.7)$$

unde $G_0 = 196,2$ corespunde primei înregistrări ($k=1$), când concentrația de cerneală roșie este nulă, iar G corespunde înregistrărilor ulterioare $k \in \{2, 11\}$, când a fost adăugată cerneală roșie.

Tabelul 1 *Date experimentale pentru determinarea Absorbanței*

Numărul citirii k	Concentrația molară $c_k = (k-1)c_1$	Valorile G					Valoarea medie a lui G	Absorbanța $A = \log_{10} \frac{G_0}{G}$
		G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅		
1	0 · c ₁	191	196	200	195	199	196.2	0
2	1 · c ₁	147	151	152	148	151	149.8	0.117187
3	2 · c ₁	139	146	147	144	148	144.8	0.131930
4	3 · c ₁	134	146	147	144	148	143.8	0.134940
5	4 · c ₁	134	135	136	134	139	135.6	0.160439
6	5 · c ₁	124	125	126	126	128	125.8	0.193018
7	6 · c ₁	123	125	119	122	124	122.6	0.204209
8	7 · c ₁	120	118	114	123	114	117.8	0.221554
9	8 · c ₁	118	115	115	114	114	115.2	0.231247
10	9 · c ₁	118	109	114	111	115	113.4	0.238086
11	10 · c ₁	111	112	113	113	115	112.8	0.240390

Conform ecuației (3.1.6), concentrația molară de cernelă roșie în apă poate fi exprimată ca un multiplu al concentrației c_1 . Astfel, a fost trasat un grafic în care pe ordonată este absorbanța luminii verzi în cerneala roșie, iar pe abscisă sunt multiplii ai lui c_1 (Fig. 3.1.3).

După cum se poate observa, graficul din Fig. 3.1.3, obținut prin regresie liniară, verifică legea Lambert - Beer dată de ecuația (3.1.2), iar din panta sa, egală cu produsul $\varepsilon \cdot d$, poate fi obținută valoarea coeficientului de absorbție ε , dacă se cunoaște lungimea distanței parcurse de lumină prin soluție

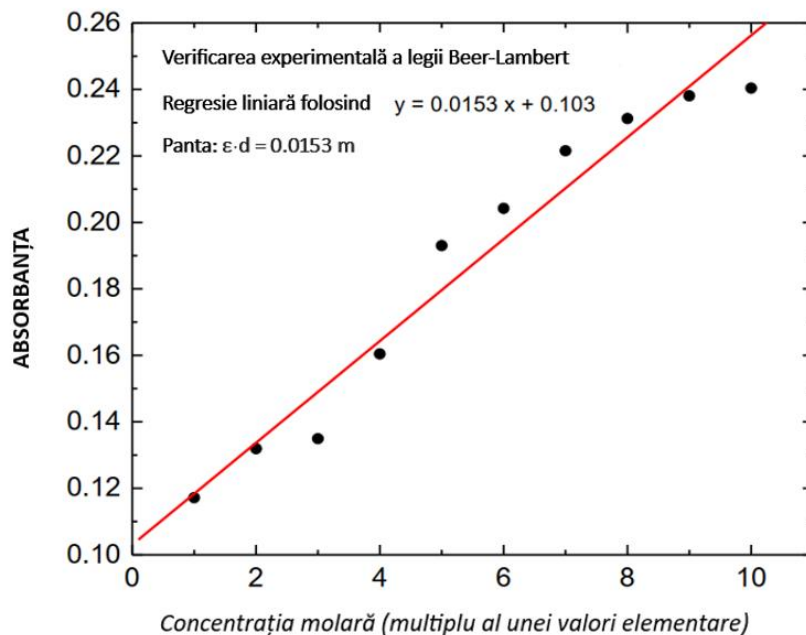


Fig. 3.1.3 Graficul absorbantei în funcție de concentrația molară

3.2. DETERMINAREA ACCELERAȚIEI UNUI SISTEM DE REFERINȚĂ NEINERȚIAL FOLOSIND TELEFONUL MOBIL

3.2.1. Introducere

Lucrarea “*Determinarea accelerației unui sistem de referință neinerțial folosind telefonul mobil*” prezintă un studiu practic al legilor fizicii de liceu utilizând aplicația pentru telefoanele mobile inteligente numită Phyphox pentru a determina accelerația unui sistem de referință neinerțial, care, în acest caz este un ascensor [8].

Aplicația Phyphox generează un grafic al accelerației gravitaționale a locului unde se află telefonul mobil în funcție de timp, prin determinarea vitezei de variație a vitezei de cădere liberă a telefonului mobil. Atunci când liftul coboară de la un etaj la parter, accelerația acestuia variază, iar aplicația Phyphox de pe telefonul smart determină accelerația gravitațională relativă în raport cu liftul.

3.2.2. Baza teoretică

Un lift poate fi considerat un sistem de referință neinerțial. Datorită mișcării accelerate a liftului, pe măsură ce accelerează sau decelerează între etaje, un obiect va apăsa normal podeaua liftului cu o forță mai mare sau mai mică decât propria greutate, în funcție de direcția mișcării liftului și de tipul de mișcare.

$$F_n = m(g \pm a) \quad (3.2.5)$$

3.2.3. Metoda de lucru

Scopul general al acestui experiment este de a-i face pe elevi să înțeleagă mai bine conceptul de sistem de referință inerțial/neinerțial, care stă la baza Teoriei relativității restrânse/generale și este legat de conceptul de câmp gravitațional și, de asemenea, de imponderabilitate. Astfel, în acest experiment, a fost determinată accelerația unui lift, considerat sistem de referință neinerțial, și a fost măsurată forța normală cu care un telefon mobil, plasat pe un cântar aflat pe podeaua liftului, apasă cântarul în timp ce liftul coboară între etaje. La începutul coborârii mișcarea liftului a fost accelerată, apoi acesta s-a deplasat cu viteză constantă și, în final, a avut o mișcare încetinită pentru a se putea opri la etajul următor.

Inițial liftul a fost în repaus. Conform Fig. 3.2.3 b), masa telefonului, atunci când liftul era în repaus, a fost $m = 140\text{g}$. În timpul coborârii liftului au fost filmate indicațiile cântarului cu ajutorul altui telefon mobil. Valorile minimă și maximă ale masei telefonului, citite pe scala cântarului, au fost preluate din videoclipul obținut prin filmare (Fig. 3.2.5 b și Fig. 3.2.6 b).

Înainte ca liftul să înceapă să coboare, a fost pornit modulul „Acceleration with g” din aplicația Phyphox [3], ce permite citirea cu mare precizie a coordonatele punctelor reprezentate pe grafic, așa cum se vede în figurile: Fig. 3.2.3 a), Fig. 3.2.5 a), Fig. 3.2.6 a) și în Fig. 3.2.7.

Valoarea accelerației gravitaționale citită în Fig. 3.2.3 a) și Fig. 3.2.7, când liftul este în repaus, este $g = 9,86 \text{ m/s}^2$. Prin urmare, eroarea absolută față de valoarea cunoscută este:

$$\Delta g = 9,86 - 9,81 \Rightarrow \Delta g = 0,05 \text{ m/s}^2 \quad (3.2.6)$$

iar eroarea relativă în raport cu valoarea cunoscută este:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{0,05}{9,81} \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} = 0,005\% \quad (3.2.7)$$

Eroarea absolută $\Delta g = 0.05 \text{ m/s}^2$ va fi considerată eroare sistematică și va fi scăzută din valorile accelerației gravitaționale obținute în graficul din Fig. 3.2.4.

În timpul coborârii liftului, aplicația a generat graficul din Fig. 3.2.4.

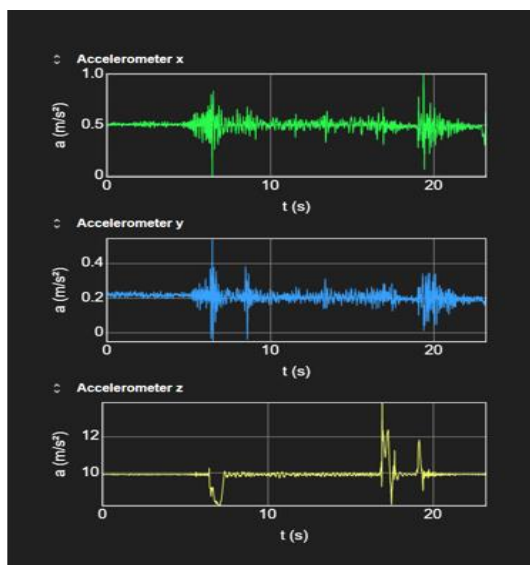


Fig. 3.2.4 Graficul dependenței de timp a accelerației liftului pe axele ox , oy , oz generat de aplicația Phyphox

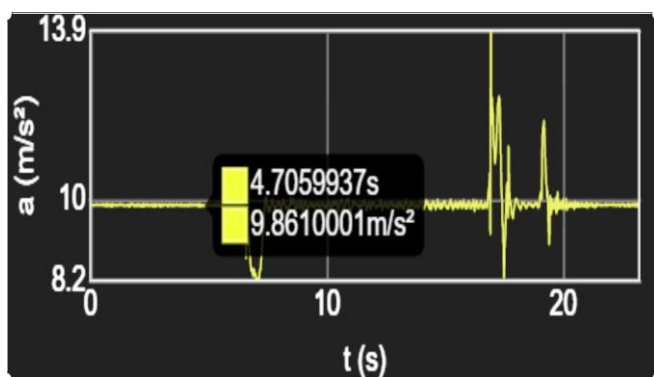


Fig. 3.2.3 a) Accelerația gravitațională atunci când liftul este în repaus, imediat înainte ca liftul să înceapă să coboare

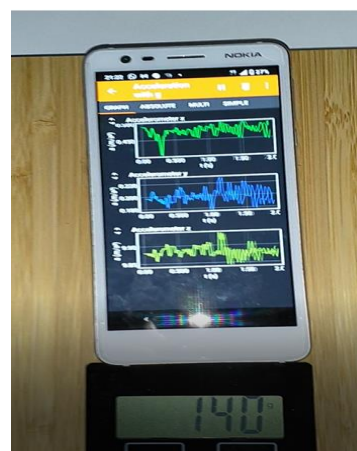


Fig. 3.2.3 b) Masa telefonului atunci când liftul este în repaus

Se poate observa în Fig. 3.2.3 b), Fig. 3.2.5 b), Fig. 3.2.6 b) și Fig. 3.2.7, că există variații ale valorilor accelerației liftului pe toate cele trei axe chiar și atunci când liftul este în repaus sau se deplasează cu viteză constantă. Coborârea a fost înregistrată cu o cameră. Valoarea cea mai

mică și, respectiv, valoarea cea mai mare ale masei telefonului, care au fost citite pe scala cântarului au fost preluate din videoclip și apar în Fig. 3.2.5 b) și, respectiv, în Fig. 3.2.6 b).

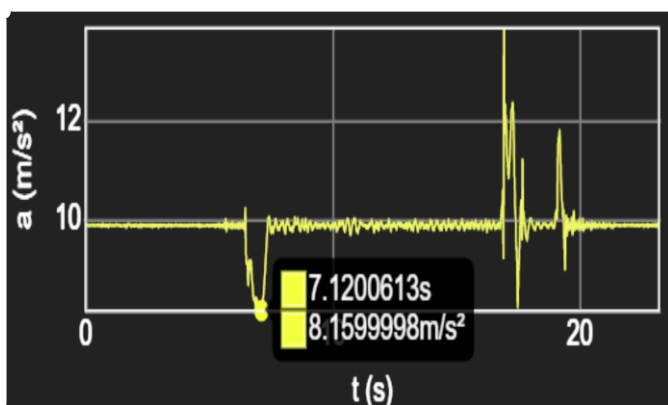


Fig. 3.2.5 a) Accelația gravitațională minimă
la coborârea decelerată a liftului

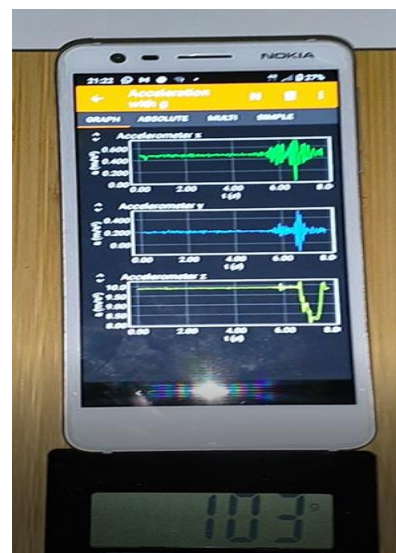


Fig. 3.2.5 b) Valoarea minimă a
masei citită pe scala cântarului

Conform graficului, valoarea minimă a accelerației gravitaționale apare la începutul coborârii și este de aproximativ $8,16 \text{ m/s}^2$, prin urmare valoarea sa, după scăderea erorii sistematice, va fi:

$$g_{d \min} = 8,16 - 0,05 \text{ m/s}^2 = 8,11 \text{ m/s}^2$$

Relația matematică dintre accelerația gravitațională minimă măsurată în raport cu liftul ($g_{d \min}$), accelerația liftului (a_1) și accelerația gravitațională (g) este:

$$g_{d \min} = g - a_1 \quad (3.2.8)$$

$$a_1 = g - g_{d \min} \quad (3.2.9)$$

$$a_1 = 9,86 - 8,11 \Rightarrow a_1 = 1,75 \text{ m/s}^2 \quad (3.2.10)$$

Luând în considerare valoarea masei telefonului, citită în Fig. 3.2.3 b): $m=140g$ și accelerația gravitațională, a cărei valoare a fost citită în graficul din Fig. 3.2.5 a), forța de apăsare normală

exercitată de telefon pe suprafața sa de sprijin este:

$$F_{n1} = m \cdot g_{d \min} \quad (3.2.11)$$

$$F_{n1} = 0,140 \cdot 8,11 \Rightarrow F_{n1} = 1,14 \text{ N} \quad (3.2.12)$$

Luând în considerare ecuația (3.2.3) și masa citită pe scala cântarului în Fig. 3.2.5 b): $m_{min}=103g$, forța de apăsare normală exercitată de telefon pe suprafața sa de sprijin este:

$$F_{n2} = m_{min} \cdot g \quad (3.2.13)$$

$$F_{n2} = 0,103 \cdot 9,81 \Rightarrow F_{n2} = 1,01 \text{ N} \quad (3.2.14)$$

Conform ecuației (3.2.16), diferența procentuală dintre valorile forțelor de apăsare normală F_{n1} and F_{n2} , obținute una citind graficul (F_{n1}), iar cealaltă citind scala cântarului (F_{n2}), este de aproximativ 12%, valoare care se încadrează în limitele erorii experimentale.

$$\% \text{ Diferență} = \frac{F_{n1} - F_{n2}}{\frac{F_{n1} + F_{n2}}{2}} \cdot 100\% \quad (3.2.15)$$

$$\% \text{ Diferență} = \frac{1.14 - 1.01}{\frac{1.14 + 1.01}{2}} \cdot 100\% = 12\% \quad (3.2.16)$$

Valoare maximă a accelerației gravitaționale și, respectiv, a masei telefonului, care au apărut în timpul coborârii decelerate a liftului, apar în Fig. 3.2.6 a) și, respectiv, în Fig. 3.2.6 b). Ele corespund mișcării decelerate a liftului înainte ca acesta să se oprească la parterul clădirii.

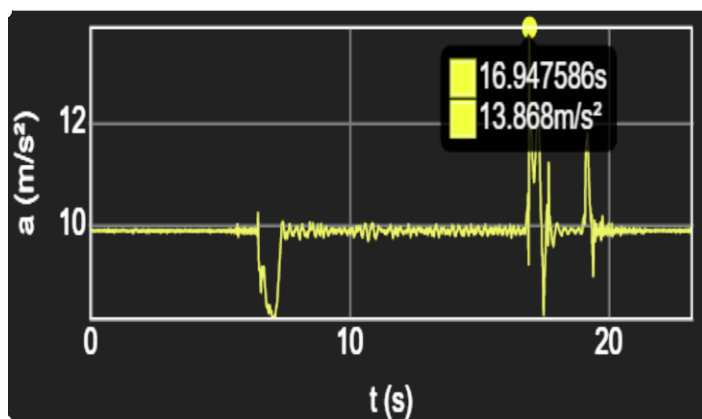


Fig. 3.2.6 a) Accelerația gravitațională maximă la coborârea decelerată a liftului

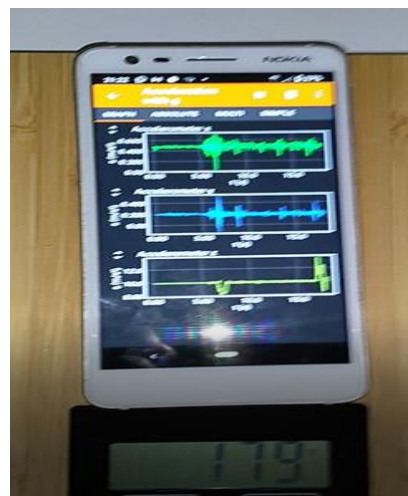


Fig. 3.2.6 b) Valoarea maximă a masei citită pe scala cântarului

Conform graficului din Fig. 3.2.6 a), valoarea maximă la sfârșitul coborârii și este de aproximativ $13,87 \text{ m/s}^2$, prin urmare valoarea sa după scăderea erorii sistematice va fi:

$$g_{d\max} = 13,87 - 0,05 \text{ m/s}^2 = 13,82 \text{ m/s}^2.$$

Relația matematică dintre accelerația gravitațională maximă măsurată în raport cu liftul ($g_{d\max}$), decelerația liftului (a_2) și accelerația gravitațională (g), este:

$$g_{d\max} = g + a_2 \quad (3.2.17)$$

$$a_2 = g_{d\max} - g \quad (3.2.18)$$

$$a_2 = 13,82 - 9,81 \Rightarrow a_2 = 4,01 \text{ m/s}^2 \quad (3.2.19)$$

Luând în considerare valoarea masei telefonului $m=140\text{g}$, citită în Fig. 3.2.3 b), și accelerația gravitațională a cărei valoare a fost citită în graficul din Fig. 3.2.6 a), forța de apăsare normală exercitată de telefon pe suprafața sa de sprijin este:

$$F_{n2} = m_{\min} \cdot g \quad (3.2.20)$$

$$F_{n1} = 0,140 \cdot 13,82 \Rightarrow F_{n1} = 1,93 \text{ N} \quad (3.2.21)$$

Luând în considerare ecuația (3) și masa citită pe scala cântarului în Fig. 3.2.6 b): $m_{\max}=179\text{g}$, forța de apăsare normală exercitată de telefon pe suprafața sa de sprijin este:

$$F_{n2} = m_{\max} \cdot g \quad (3.2.22)$$

$$F_{n2} = 0,179 \cdot 9,81 \Rightarrow F_{n2} = 1,76 \text{ N} \quad (3.2.23)$$

Diferența procentuală dintre valorile forțelor de apăsare normală F_{n1} and F_{n2} , obținute fie citind graficul (F_{n1}), fie citind scala cântarului (F_{n2}), este de aproximativ 9%, valoare care se încadrează în limitele erorii experimentale.

$$\% \text{ Diferență} = \frac{1,93-1,76}{\frac{1,93+1,76}{2}} \cdot 100\% = 9\% \quad (31)$$

Se poate observa comparând Fig. 3.2.3 a) și în Fig. 3.2.7. că accelerația gravitațională dată de aplicația Phyphox atunci când liftul rămâne în repaus după, deplasarea între etaje, are aceeași valoare cu cea înainte ca liftul să înceapă să se miște, ceea ce confirmă ideea că diferența $\Delta g = 0,05 \text{ m/s}^2$ ar trebui considerată eroare sistematică.

3.3 VERIFICAREA LEGII LUI MALUS FOLOSIND TELEFONUL MOBIL

3.3.1. Introducere

Legea lui Malus descrie modul în care intensitatea luminii polarizate variază atunci când trece printr-un filtru polarizator, numit analizor. Conform legii lui Malus, intensitatea luminii transmise printr-un analizor este proporțională cu pătratul cosinusului unghiului dintre direcția de polarizare a luminii incidente și axa de transmitere a analizorului.

Scopul acestei lucrări este ca această lege să fie verificată experimental, folosind aplicația Phyphox și senzorul pentru intensitatea luminii încorporat în telefonul mobil. În ciuda faptului că măsurările sunt relativ simple, interpretarea lor este dificilă din cauza prezenței luminii de background. Legea lui Malus este enunțată pentru condiția ideală în care lumina de background lipsește, dar în acest experiment există o cantitate mare de lumină de background și, prin urmare, datele furnizate de graficul iluminare-timp din Fig. 3.3.3 trebuie procesate în conformitate cu acest aspect, folosind ecuațiile (3.3.1) – (3.3.6).

3.3.2. Baza teoretică

În Fig. 3.3.1, lumina emisă de sursă și incidentă pe primul filtru polarizator, în punctul A, este nepolarizată. Săgeata verticală de la primul filtru reprezintă axa de transmisie a acestuia. Lumina provenită de la sursă și transmisă prin primul filtru, în punctul B, este liniar polarizată. Ea va traversa apoi un al II-lea filtru polarizator, analizorul, a cărei axă de transmisie este rotită cu unghiul θ în raport cu cea a primului filtru, polarizorul.

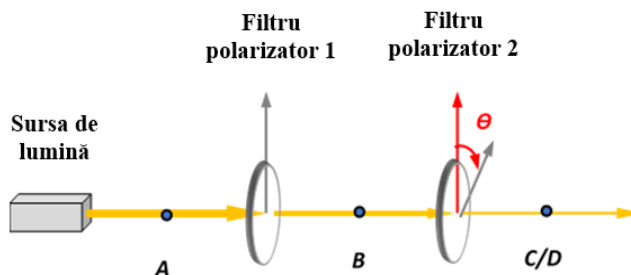


Fig. 3.3.1 Polarizarea luminii prin transmisia acesteia prin filtre polarizatoare

Conform legii lui Malus [9-12], în condiții ideale, când nu există lumină de background, intensitatea luminii polarizate liniar din punctul B, după ce trece printr-un filtru polarizator, în acest caz fiind vorba despre al II-lea filtru, are expresia:

$$I = I_o \cos^2 \theta \quad (3.3.1)$$

unde I_o este intensitatea luminii liniar polarizate incidentă pe al II-lea filtru polarizator, I este intensitatea luminii liniar polarizate transmisă prin acest filtru, iar θ este unghiul dintre direcția de polarizare a luminii incidente pe filtru și direcția axei de transmisie a acestuia.

Datorită faptului că în acest experiment intensitatea luminii de background nu este zero, intensitatea luminii în punctul A din Fig. 3.3.1 va fi suma dintre intensitatea luminii care provine de la sursă și intensitatea de background:

$$I_A = I_S + I_b \quad (3.3.2)$$

unde I_S este intensitatea luminii care provine de la sursă, iar I_b intensitatea de background.

Lumina care provine de la sursă este nepolarizată (lumina de la o lampă). Ea poate fi reprezentată ca un amestec uniform de unde liniar polarizate, oscilând în toate direcțiile posibile în raport cu direcția axei de transmisie a filtrului polarizator. Deoarece valoarea medie a lui $\cos^2 \theta$ pentru $\theta \in (0, 2\pi)$ este $1/2$, din relația (3.3.1), se obține că, la trecerea luminii provenite de la sursă prin primul filtru polarizator, intensitatea acesteia este înjumătățită ($I_o = \frac{1}{2} I_S$), unde I_o este intensitatea luminii transmise prin primul filtru, iar I_S este intensitatea celei ce provine de la sursă.

Astfel, intensitatea luminii în punctul B din Fig. 3.3.1 va fi suma dintre intensitatea luminii provenită de la sursă și transmisă prin primul filtru, I_o , care este lumină polarizată, și intensitatea luminii de background, care este nepolarizată (I_b):

$$I_B = \frac{1}{2} I_S + I_b \quad (3.3.3)$$

Deci lumina transmisă prin primul filtru și incidentă pe al II-lea filtru este polarizată. Intensitatea sa este $I_o = \frac{1}{2} I_S$, deci conform legii lui Malus (3.3.1), intensitatea luminii polarizate în punctul C al Fig 3.3.1 va fi:

$$I = \frac{1}{2} I_S \cdot \cos^2 \theta_1 \quad (3.3.4)$$

Adăugând la intensitatea luminii polarizate din punctul C, ecuația (3.3.4), intensitatea luminii de background, expresia intensității luminii în punctul C este:

$$I_C = \frac{1}{2} I_S \cos^2 \theta_1 + I_b \quad (3.3.5)$$

unde: θ_1 este unghiul dintre axa de transmisie a celui de-al doilea filtru polarizator (care are funcția de analizor, adică selectează și evidențiază starea de polarizare a luminii incidente pe acesta) și axa de transmisie a primului filtru polarizator (polarizorul).

Dacă cel de-al doilea filtru polarizator (analizorul) este rotit în continuare cu un unghi θ_2 , unghiul total dintre axa de transmisie a primului filtru și, respectiv, axa de transmisie a celui de-al doilea filtru, devine $\theta = \theta_1 + \theta_2$

În aceasta situație, în conformitate cu legea lui Malus, intensitatea luminii în punctul D al Figurii 3.3.1 are expresia:

$$I_D = \frac{1}{2} I_S \cos^2(\theta_1 + \theta_2) + I_b \quad (3.3.6)$$

3.3.3. Metoda de lucru

Conform cu legea fundamentală a fotometriei [13-14], relația matematică dintre iluminarea unei suprafețe E și intensitatea I a luminii provenite de la o sursă este:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha \quad (3.3.7)$$

În cazul nostru lumina incidentă pe telefonul mobil este normală pe suprafața acestuia, deci $\alpha = 0^\circ$, $[\cos \alpha = 1]$ și r este constant, de aceea ecuațiile (3.3.2), (3.3.3), (3.3.5) și (3.3.6), scrise pentru intensitatea luminii, vor fi la fel cu cele pentru iluminarea telefonului, transformându-se în ecuațiile (3.3.8 - 3.3.11):

$$E_A = E_S + E_b \quad (3.3.8)$$

unde E_S este iluminarea suprafeței telefonului cauzată de lumina provenită de la sursă, iar E_b este iluminarea suprafeței telefonului cauzată de lumina de background;

$$E_B = \frac{1}{2} E_S + E_b \quad (3.3.9)$$

$$E_C = \frac{1}{2} E_S \cos^2 \theta_1 + E_b \quad (3.3.10)$$

$$E_D = \frac{1}{2} E_S \cos^2(\theta_1 + \theta_2) + E_b \quad (3.3.11)$$

Echipamentul folosit în acest experiment constă dintr-o sursă electrică, o lampă, două filtre polarizatoare și un telefon mobil, ca în Fig. 3.3.2.



Fig. 3.3.2 – Dispozitivul experimental pentru verificarea legii lui Malus

Pentru măsurarea iluminării, a fost folosită aplicația „Light” din meniul Phyphox [4], ce oferă date brute sub forma unui grafic de iluminare în timp, ca în Fig. 3.3.3. Acuratețea datelor furnizate de aplicație este scăzută, deoarece senzorul de lumină este actualizat doar atunci când are loc o schimbare drastică de iluminare.

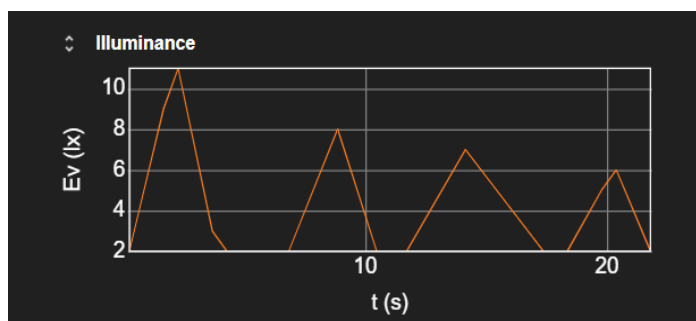


Fig. 3.3.3 – Graficul iluminare în funcție de timp înregistrat cu aplicația Phyphox

Inițial, când lampa a fost aprinsă, nu au fost folosite filtre polarizatoare. Valoarea iluminării telefonului mobil, obținută din grafic, conform Fig. 3.3.4, este $E_A = 11 \text{ lx}$.

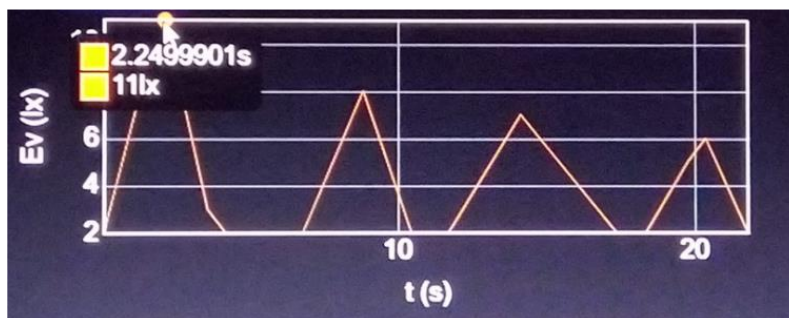


Fig. 3.3.4 – Iluminarea în punctul A

Înlocuind valoarea iluminării în punctul A, $E_A = 11 \text{ lx}$, în ecuația (3.3.8) se obține:

$$11 = E_S + E_b \quad (3.3.12)$$

Apoi, primul filtru polarizator (polarizorul) a fost plasat între lampă și telefonul mobil. Valoarea iluminării în punctul B, luată din grafic, conform Fig. 3.3.5, este $E_B = 8 \text{ lx}$.

Înlocuind valoarea iluminării în punctul B, $E_B = 8 \text{ lx}$, în ecuația (3.3.9) se obține:

$$8 = \frac{1}{2} E_S + E_b \quad (3.3.13)$$



Fig. 3.3.5 – Iluminarea în punctul B

Ecuatiile (3.3.12) și (3.3.13) formează un sistem. Rezolvând sistemul sunt determinate E_S and E_b :

$$E_S = 6 \text{ lx} , E_b = 5 \text{ lx} \quad (3.3.14)$$

Următorul pas a fost plasarea celui de-al doilea filtru polarizator (analizorul) astfel încât să se formeze un unghi $\theta_1 = 45^\circ$ între direcția sa de polarizare (axa sa de transmisie) și direcția de polarizare (axa de transmisie) a primului filtru (polarizorul).

Valoarea iluminării în punctul C, luată din grafic, conform Fig. 3.3.6, este $E_{C1} = 7 \text{ lx}$.

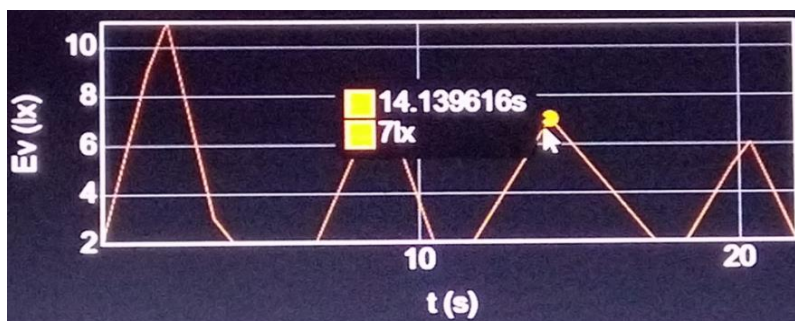


Fig. 3.3.6 – Iluminarea în punctul C

Apoi iluminarea E_{C2} a fost calculată în același punct C, dar, de data aceasta, folosind legea lui Malus, conform ecuației (3.3.11):

$$E_{C2} = \frac{1}{2} 6 \cdot \cos^2 45^\circ + 5 = 6,5 \text{ lx} \quad (3.3.15)$$

Așa cum se poate observa din (3.3.17), diferența procentuală dintre iluminarea dată de grafic: (3.3.14) și iluminarea calculată cu legea Malus (3.3.15) este de aproximativ 7%, valoare care este în limitele erorii experimentale.

$$\% \text{ Diferență} = \frac{E_{C1} - E_{C2}}{\frac{E_{C1} + E_{C2}}{2}} \cdot 100\%; \quad \% \text{ Diferență} = \frac{7 - 6.5}{\frac{7 + 6.5}{2}} \cdot 100\% = 7\% \quad (3.3.16)$$

În etapa următoare, cel de-al doilea filtru a fost rotit cu unghiul $\theta_2 = 45^\circ$ față de prima sa direcție de polarizare, prin urmare noul unghi dintre direcțiile de polarizare ale celor două filtre a devenit $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$.

Valoarea iluminării în punctul D (vezi Fig. 3.3.1), obținută din graficul din Fig. 3.3.7 este $E_{D1} = 6 \text{ lx}$,

Apoi a fost calculată în același punct D iluminarea E_{D2} , dar, de data aceasta, folosind legea lui Malus, conform ecuației (43):

$$E_{D2} = \frac{1}{2} 6 \cdot \cos^2 90^\circ + 5 = 5 \text{ lx} \quad (3.3.17)$$

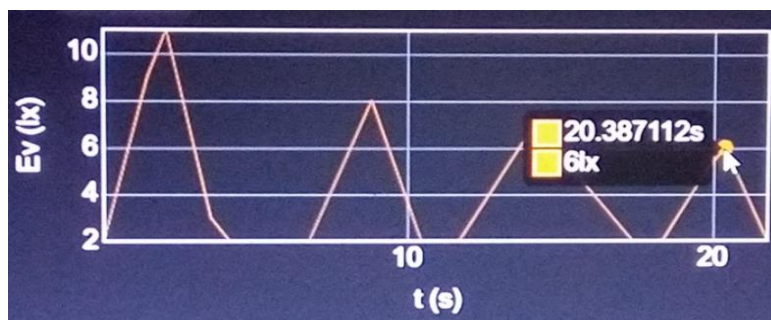


Fig. 5.3.7 – Iluminarea în punctul D

Conform (3.3.18), diferența procentuală dintre iluminarea E_{D1} , dată de grafic - formula (3.3.16) și iluminarea E_{D2} , calculată cu legea lui Malus – formula (3.3.17) este de aproximativ 18%, valoare care este în limitele erorii experimentale, ținând cont de faptul că aplicația nu

sesizează decât schimbări drastice ale iluminării și că a fost posibil ca iluminarea de fundal să aibă variații, ferestrele neputând fi acoperite etanș.

$$\% \text{ Diferență} = \frac{E_{D1}-E_{D2}}{\frac{E_{D1}+E_{D2}}{2}} \cdot 100\%; \quad \% \text{ Diferență} = \frac{6-5}{\frac{6+5}{2}} \cdot 100\% = 18 \% \quad (3.3.18)$$

3.4. DETERMINAREA ACCELERAȚIEI CENTRIPETE FOLOSIND SMARTPHONUL

3.4.1. Introducere

Mișcarea circulară uniformă stă la baza înțelegerii unor fenomene care apar în mecanică, astronomie, mecanică cuantică, oscilații și unde mecanice și electromagnetice, mișcarea particulelor electrizate în câmp magnetic în accelerometre și spectrometrie de masă. Scopul acestei lucrări este ca, folosind aplicația Phyphox, ce funcționează pe baza senzorilor de mișcare încorporați în telefonul mobil, elevii să se familiarize atât cu conceptul de accelerație centripetă cât și cu cel de viteză unghiulară.

3.4.2. Metoda de lucru

Experimentul, realizat în spațiul de joacă al unui părculeț, măsoară accelerația centripetă a telefonului mobil aflat pe un disc rotativ. Pentru înregistrarea datelor, a fost utilizată o tabletă, cu ajutorul căreia a fost accesată de la distanță aplicația Phyphox de pe telefonul mobil prin folosirea URL-ului generat de aplicația Phyphox. Discul a primit un impuls și apoi a fost lăsat să se rotească liber până la oprire. A fost accesat, de pe tabletă, modulul „centripetal acceleration” din meniul Phyphox. Acesta a generat patru grafice, care pot fi văzute în Fig. 3.4.2.

Expresia accelerației centripete este:

$$a_{cp} = R\omega^2 \quad (3.4.1)$$

Conform ecuației (3.4.1), graficul accelerației centripete în funcție de viteza unghiulară ar trebui să fie o parabolă. Curba de regresie a graficului accelerației centripete în funcție de viteza unghiulară din Fig. 3.4.2a) sus, este cea a unei parabole, validând formula (3.4.1). Conform ecuației (3.4.1), graficul accelerației centripete în funcție de pătratul vitezei unghiulare ar trebui să fie o dreaptă ce trece prin origine. Se poate observa că forma curbei de regresie a graficului accelerației centripete în funcție de pătratul vitezei unghiulare din Fig. 3.4.2a) jos este o linie ce

trece prin origine, validând din nou formula (3.4.1). Panta acestui grafic reprezintă raza traiectoriei circulare a telefonului mobil, a cărei valoare, din grafic, este de aproximativ 10 cm.

Forma graficului accelerație centripetă în funcție de timp și cel al vitezei unghiulare în funcție de timp, Fig. 3.4.2.b), au arătat că accelerația centripetă și viteza unghiulară se amortizează în timp, ca urmare a frecărilor și, deci, a transformării energiei mecanice în energie termică.

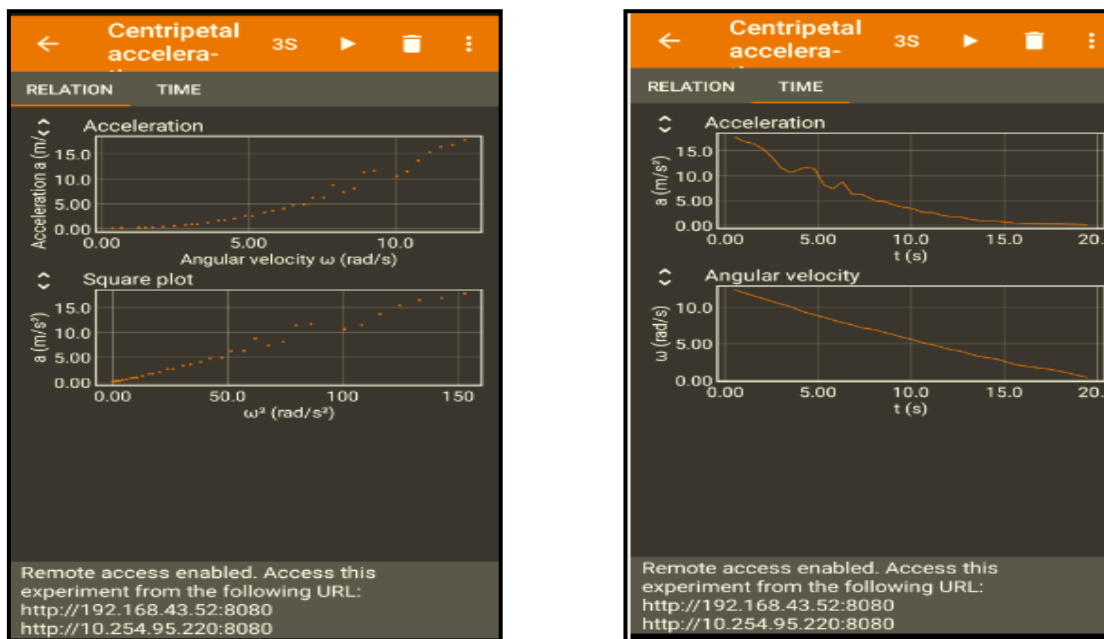


Fig. 3.4.2 Grafice generate de modulul "Centripetal acceleration" al aplicației Phyphox la rotirea unui disc pe care a fost plasat telefonul mobil

Fig. 3.4.2 a) Graficul accelerației centripete în funcție de viteza unghiulară și graficul accelerației centripete în funcție de pătratul vitezei unghiulare

Fig. 3.4.2 b) Graficul accelerației centripete în funcție de timp și graficul vitezei unghiulare în funcție de timp.

A fost repetat experimentul anterior, dar, de data aceasta, discul rotitor a primit un nou impuls în timpul rotirii sale. În Fig. 3.4.3.b), în care sunt reprezentate accelerația unghiulară în funcție de timp (în graficul de sus) și, respectiv, viteza unghiulară în funcție de timp (în graficul de jos), se observă cele două impulsuri succesive. În Fig. 3.4.3. a) în graficul de jos, în care este reprezentată accelerația centripetă în funcție de pătratul vitezei unghiulare, se poate observa că, din nou, forma curbei de regresie este o linie dreaptă ce trece prin origine indiferent de tipul de mișcare circulară pe care o efectuează telefonul mobil, validând din nou ecuația (3.4.1).

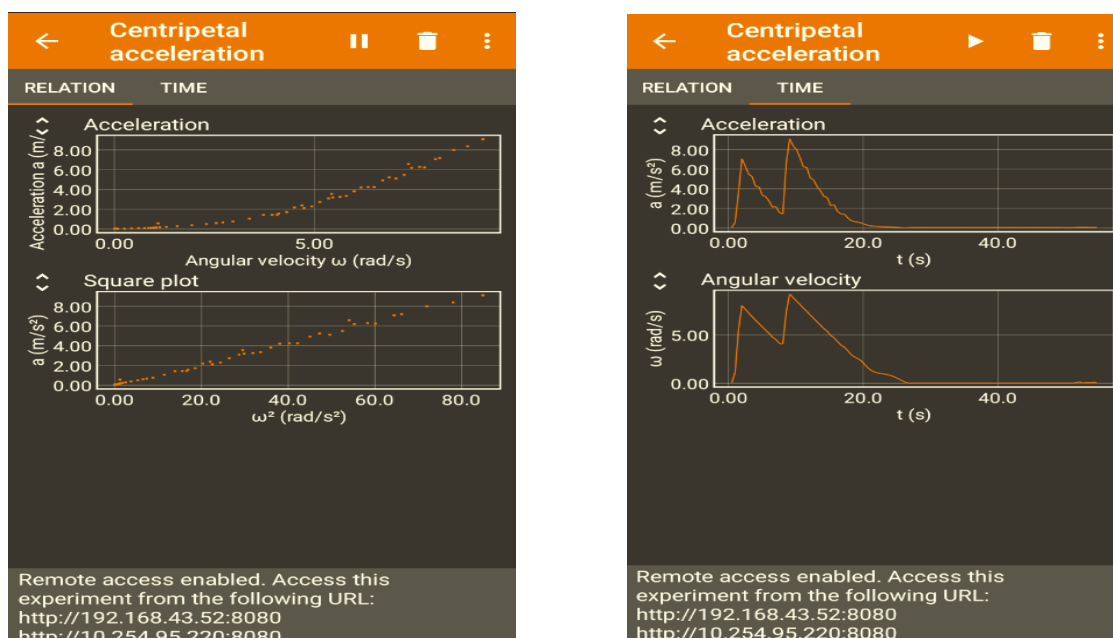


Fig. 3.4.3 Grafice generate de modulul “Centripetal acceleration”
al aplicației Phyphox la a II-a rotire a unui disc pe care a fost plasat telefonul mobil

Fig. 3.4.3 a) Graficul accelerației centripete în funcție de viteza unghiulară și graficul accelerației centripete în funcție de pătratul vitezei unghiulare

Fig. 3.4.3 b) Graficul accelerației centripete în funcție de timp și graficul vitezei unghiulare în funcție de timp.

Panta graficului accelerației centripete în funcție de pătratul vitezei unghiulare este egală cu raza traiectoriei circulare, care, conform Fig. 3.4.3 a) jos, are aceeași valoare obținută din grafic ca și în Fig. 3.4.2. a) jos, de aproximativ 10 cm.

3.5. Concluzii parțiale pentru Capitolul 3

Aplicația Phyphox s-a dovedit un instrument de măsură de încredere, deoarece erorile relative s-au încadrat în limitele erorii experimentale, este ușor de utilizat, dar provocatoare atunci când datele furnizate trebuie să fie interpretate, deoarece teoria modelează o realitate foarte complexă. Astfel, utilizarea aplicațiilor de fizică pe smartphone-uri aduce un acces rapid, fiabil la efectuarea măsurărilor, dar, în același timp, interpretarea datelor obținute cu ajutorul acestora implică un domeniu larg și divers de cunoștințe teoretice și practice, facilitând legătura dintre teorie și realitatea înconjurătoare.

Bibliografie

1. D. Stoica, F. Paragină, S. Paragină, C. Miron, A. Jipa, *Science Direct Procedia Social and Behavioral Sciences* **15**, 3316–332 (2011).
2. A. Wagner, S. Altherr, B. Eckert, H. J. Jodl, *Distance Education in Physics via Internet*, *European Journal of Physics*, (27), 6 (2006).
3. J. Paul, F. Jefferson, *A Comparative Analysis of Student Performance in an Online vs. Face-to-Face Environmental Science Course from 2009 to 2016*, *Frontiers in Computer Science*, **1** | <https://doi.org/10.3389/fcomp.2019.00007> (2019).
4. F. Pols, *A. Physics Lab Course in Times of COVID-19*, *Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education* Vol. 24, No. 2, 172-178 (2020).
5. L Sukariasih, Erniwati, L Sahara, L Hariroh, S Fayanto, *Studies The Use Of Smartphone Sensor For Physics Learning*, *International Journal of Scientific & Technology Research* Vol. 8, Issue 10, October 2019, Issn 2277-8616
5. <https://phyphox.org>
6. K Malisorn, S Wicharn, S Plaipichit, C Pipatpanuk, N. Hounkamhang, *Demonstration of light absorption and light scattering using smartphones*, *Journal of Physics Education*, **55**(1), 015012, DOI:10.1088/1361-6552/ab51ea (2020).
7. T. S. Kuntzleman, Erik C. Jacobson, *Teaching Beer's Law and Absorption Spectrophotometry with a Smart Phone: A Substantially Simplified Protocol*, *Journal of Chemical Education* 2016, **93**(7), 1249-1252.
8. L. Viennot, C. de Hosson, *From a Subtractive to Multiplicative Approach: A concept-driven interactive pathway on the selective absorption of light*, *International Journal Of Science Education*, 37:1, 1-30, DOI: 10. 1080/09500693.2014.950186 (2015).
9. C. Mantea, M. Garabet, *Fizica: manual pentru clasa 11*, Editura All (2006).
10. M. Born, E. Wolf, *Principles of optics*, Cambridge University Press (1999).
11. F. A. Jenkins, H. E. White, *Fundamentals of optics*, McGraw-Hill Publishing (2001).
12. E. Hecht, A. Zajac, *Optics*, Addison-Wesley Publishing Company (1974).
13. O. Toma, D. Bejan, M. Bazavan, I. Ionita, M. Bulinski, *Geometrical optics, practical works, exercises and problems*, Publishing House of University of Bucharest (2021).
14. M. Young, *Optics and lasers*, Springer, Berlin (2000).
15. C. G. Bostan, N. Dina, M. Bulgariu, S. Craciun, M. Dafinei, C. Chitu, I. Staicu, S. Antohe, *Rom. Rep. Phys.* **63**(2), 543–556 (2011).
16. C. Kuncser, A. Kuncser, S. Antohe, *Rom. Rep. Phys.* **64**(1), 143–154 (2012).
17. M. Dolineanu, T.O. Cheche, *Rom. Rep. Phys.* **71**(3), 903 (2019).
18. D. Pantazi, S. Dinu, S. Voinea, *Rom. Rep. Phys.* **71**, 902 (2019).
19. S. Dinu, B. Dobrica, S. Voinea, *Rom. Rep. Phys.* **71**, 905 (2019).
20. C. Kuncser, A. Kuncser, G. Maftai, S. Antohe, *Rom. Rep. Phys.* **64**(4), 1119–1130 (2012).
21. F. Iofciu, C. Miron, M. Dafinei, A. Dafinei, S. Antohe, *Rom. Rep. Phys.* **64**(3), 841–852 (2012).
22. D. Marciuc, C. Miron, *Rom. Rep. Phys.* **70**, 902 (2018).
23. B. Mihalache, C. Berlic, *Rom. Rep. Phys.* **70**, 901 (2018).
24. M. Oprea, C. Miron, *Rom. Rep. Phys.* **66**(4), 1236–1252 (2014).
25. M. Osorio, C. J. Pereyra, D. L. Gau, A. Laguarda, *Eur. J. Phys.* **39**(2), 025708 (2018).

26. K. Malisorn, S. Wicharn, S. Plaipichit, C. Pipatpanukul, N. Houngkamhang, C. Puttharugsa, *Physics Education* **55**(1), 015012 (2019).
27. D. C. Davidescu, M. Dafinei, A. Dafinei, S. Antohe, *Rom. Rep. Phys.* **63**(3), 753–781 (2011).
28. N. Korganci, C. Miron, A. Dafinei, S. Antohe, *STEM activities to explore high school students' perception of solar energy*, *Proceedings of Conference: 12th International Scientific Conference on eLearning and Software for Education (eLSE)* **3**, 209–214 (2016).
29. C. Kuncser, S. Antohe, *Rom. Rep. Phys.* **66**(4), 1226–1235 (2014).

CAPITOLUL 4. Modele de predare a efectului fotovoltaic în diferite structuri de celule solare aparținând generației a I-a și a III-a

4.1. Introducere

Educația este un vector puternic al schimbării sociale, crește gradul de conștientizare cu privire la noile tendințe, oferă formare pentru profesioniști și formează cercetători care vor dezvolta următoarea generație de sisteme și de dispozitive.

În articolul “O sinteză critică a articolelor privind metode de predare a efectului fotovoltaic în diferite structuri de celulă solară la nivel de liceu” sunt trecute în revistă abordări ale cursurilor de fizică din liceu privind studiul celulelor fotovoltaice ca surse de energie regenerabilă, durabilă, esențială pentru combaterea schimbărilor climatice precum și sondaje care testează interesul pentru cursurile de fizică de liceu de complexitate superioară, sondaje ce au fost efectuate în rândul elevilor de liceu și absolvenților de universități tehnologice [2].

Această lucrare conține o trecere în revistă a articolelor privind transmiterea noțiunilor despre celulele fotovoltaice în timpul cursurilor de fizică de liceu.

4.2. Motivație privind necesitatea dezvoltării cursurilor de fizică de liceu

Educația modernă, centrată pe elev, se bazează pe constructivismul cognitiv ca teorie a învățării. Aceasta implică faptul că elevii își formează înțelegerea individuală a realității pe baza propriilor experiențe, pe baza cunoștințelor lor anterioare și pe baza propriei gândiri critice. Conform acestei teorii, elevii nu ar trebui să fie niște cursanți pasivi, ci ar trebui să aibă un rol activ în procesul de învățare, dobândind cunoștințe prin experiență directă, prin activități practice de tip hands-on. În articolul „Studying Advanced Science Concepts Using Constructivist Strategies in Middle and

High School” [6], autorii au realizat un sondaj în rândul elevilor de gimnaziu și liceu, având ca punct de plecare trei ipoteze:

1. Elevii sunt interesați să studieze concepte științifice avansate, adaptate specificului lor
2. Conceptele științifice avansate ar trebui studiate în timpul orelor de fizică
3. Pentru o mai bună înțelegere a conceptelor științifice avansate, profesorii ar trebui să folosească strategii constructiviste și instrumente informatice constructivist cognitive.

Aceste ipoteze au fost validate de răspunsurile respondenților: mai mult de 90% dintre aceștia au fost de acord că elevii ar fi interesați să învețe concepte științifice avansate dacă acestea ar fi adaptate vârstei lor, 55% dintre respondenți au fost de acord că ar fi cel mai potrivit ca noțiunile științifice avansate să fie studiate mai degrabă în timpul orelor de fizică decât în timpul altor ore de științe și aproximativ 80% dintre ei au fost de acord că profesorii ar trebui să folosească strategii constructiviste și instrumente informatice constructivist cognitive atunci când sunt predate concepte științifice avansate.

Având în vedere impactul economic al energiei regenerabile și, mai ales, al energiei solare, Technion, Institutul de Tehnologie Israelian, a dezvoltat un curs interdisciplinar despre celulele fotovoltaice, curs adresat elevilor de clasa a XII-a, care îmbină fizica și electronica în contextul sustenabilității energetice. Cursul a cuprins următoarele subiecte: unde electromagnetice, radiația corpului negru, fizică atomică, interacțiunea lumină-materie, semiconductoare, dispozitive semiconductoare și principiul funcționării celulelor fotovoltaice. După absolvirea cursului, elevii au participat la un sondaj de evaluare a acestuia. Conform rezultatelor publicate în articolul “Students’ Attitudes Toward Interdisciplinary Learning: A High-School Course on Solar Cells”, au fost evaluate atitudinile elevilor față de curs atât din perspectivă cognitivă cât și afectivă. S-au tras următoarele concluzii generale: 67% dintre respondenți au apreciat ca fiind pozitivă expunerea la aplicațiile tehnologice din viața reală ale teoriei oferite de curs, 46% dintre aceștia au considerat că a fost adusă o îmbogățire a cunoștințelor lor și deci o extindere a orizontului, 34% au apreciat importanța temei și anume celulele solare, 50% au considerat cursul ca fiind cu o încărcătură cognitivă mare, 79% au apreciat conținutul cursului ca fiind de interes ridicat, iar 88% dintre respondenți ar recomanda cursul prietenilor lor pasionați de știință și inginerie [7].

Potrivit unui sondaj online, denumit „Questionnaire about romanian physics high school curriculum”, desfășurat în perioada 1 octombrie - 10 noiembrie 2021 în rândul unor persoane cu

pregătire sau interes pentru tehnologie, la întrebarea dacă programa de fizică la nivel de liceu de astăzi ar trebui să fie actualizată atât în ceea ce privește conținutul cât și în ceea ce privește ponderile pe care le are fiecare capitol cu scopul ca elevii să poată înțelege noile tehnologii, respondenții au fost de acord în procent de 100% cu necesitatea actualizării acestuia (46,6% total de acord, 35,2% de acord și 18,2% ușor de acord). Întrebați despre necesitatea includerii în programa de fizică de liceu a unui capitol despre sursele de energie regenerabilă și durabilă, respondenții l-au aprobat în procent de 100% (62,5% total de acord, 28,4% de acord și 9,1% ușor de acord). În plus, 99,7% dintre respondenți au considerat că tema celulelor fotovoltaice ar trebui inclusă în programa națională de fizică pentru liceu (51,1% o consideră foarte importantă, 37,5% o consideră importantă și 9,1% o consideră puțin importantă). Întrebați dacă ei consideră util să aibă posibilitatea de a alege cursuri de fizică de complexitate mai ridicată ca și curriculum la decizia școlii (CDȘ), cursuri care să le ofere cunoștințe superioare pentru a se adapta mai bine la cerințele unei universități tehnice, respondenți au aprobat în procent de 100% acest lucru (62,5% total de acord, 34,1% de acord și 3,4% ușor de acord) [8].

Un sondaj anterior, adresat în special elevilor de liceu din România, realizat în 2011 și prezentat în articolul “Teaching of Alternative Energy Sources in Romanian School”, este o cercetare privind elaborarea unui curs despre sursele alternative de energie în general și despre conversia energiei solare. Cei 230 de respondenți au fost absolvenți de liceu, de vârste diferite. Dintre aceștia, 191 de persoane, adică 83%, au considerat că învățarea formală despre sursele alternative de energie regenerabilă va schimba atitudinea și obiceiurile societății față de sursele de energie sustenabilă și va crea profesioniști în domeniu. Aproximativ 88% din cele 230 de persoane au considerat că este necesar să fie studiată conversia energiei solare în școală astfel: 157 dintre aceștia au optat pentru un curs de energii regenerabile adresat elevilor de liceu, 30 dintre ei au optat pentru un curs adresat elevilor de gimnaziu și 18 dintre ei au optat pentru un curs adresat studenților [9].

În concluzie, necesitatea unor cursuri de fizică de mare complexitate în liceu a devenit din ce în ce mai importantă datorită evoluției tehnologiei și datorită necesității de a aborda provocările induse de schimbările climatice prin utilizarea de energie regenerabilă, mai ales, prin utilizarea celulelor fotovoltaice, care sunt considerate a fi tehnologia de producere a energiei cu cea mai rapidă creștere datorită reducerii costurilor și nevoii crescânde de surse de energie sustenabilă.

4.3. Exemple de abordare a unor lecții de fizică de liceu despre celule fotovoltaice

Trecerea de la combustibili fosili la energie sustenabilă este deja în curs de realizare, fiind o preocupare majoră a guvernelor lumii. Pe măsură ce tehnologia continuă să se îmbunătățească și costurile continuă să scadă, energia solară este cel mai probabil să devină o sursă indispensabilă de energie curată și regenerabilă. Utilizarea activităților practice, a exemplelor din lumea reală și a oportunităților de explorare și experimentare poate ajuta la implicarea elevilor în procesul de învățare și la pregătirea lor pentru cariere în domeniul tehnologiei în general și a energiei în particular. În acest capitol va fi realizată o sinteză a unor articole privind celulele fotovoltaice, material ce poate sta la baza configurării unui capitol dintr-un curs de liceu despre energia regenerabilă.

4.3.1. În articolul „Abordare a predării celulelor fotovoltaice în liceu” [10 - *M. Garabet, I. Neacsu, F. Popescu, Approach of Teaching about Photovoltaic Cell in High School, Romanian Reports in Physics, Vol. 62, No. 4, P. 918–930 (2010)*], autorii au conceput un experiment menit să îi învețe pe elevii de liceu despre funcționarea celulelor solare. Experimentul a fost realizat de elevi de clasa a X-a, care studiau la Liceul Grigore Moisil din București. Celula fotovoltaică, utilizată ca sursă de alimentare a circuitului, a fost conectată de către elevi la un rezistor de rezistență variabilă. Elevii au folosit o placă de achiziție de date numită LabPro de la Vernier și un software predezvoltat numit Logger Pro. În prezența iluminării, modificând valoarea rezistenței de sarcină, cu ajutorul plăcii de achiziție de date, s-au înregistrat valorile fotocurentului și a tensiunii aferente. Software-ul încorporat a reprezentat grafic caracteristicile curent - tensiune ambipolară ale celulei fotovoltaice la întuneric și la iluminare în cadranul IV, în regim de fotoelement. Pentru caracterizarea performanțelor celulei fotovoltaice este esențială determinarea punctului de putere maximă. Pentru a identifica acest punct, s-a reprezentat grafic puterea generată de celulă în funcție de tensiunea de la bornele sale. În urma acestei reprezentări grafice, s-a putut extrage direct valoarea puterii maxime, corespunzătoare unei anumite tensiuni și curent. Determinarea grafică a punctului de putere maximă permite, drept consecință directă, calculul factorului de umplere, oferind o imagine completă asupra comportamentului celulei în regim de funcționare.

Folosind același echipament, elevii au avut ca sarcină de lucru să investigheze dependența fototensiunii la circuit deschis apărută la bornele celulei fotovoltaice în funcție de intensitatea radiației incidente, modificată prin schimbarea distanței de la sursa de lumină la celula fotovoltaică și să genereze un grafic. La final au fost evaluate competențele dobândite de elevii implicați în proiect pe baza unui chestionar cu răspunsuri multiple. Rezultatele chestionarului au arătat că abordarea experimentală de tipul hands-on propusă de autori a fost validată de procente bune de competență dovedite de elevii implicați în proiect.

4.3.2. În articolul „Predarea-Învățarea efectului fotovoltaic în liceu” [11 - C. G. Bostan, N. Dina, M. Bulgariu, S. Craciun, M. Dafinei, C. Chitu, I. Staicu, S. Antohe, *Teaching/Learning Photovoltaic Effect in High School, Romanian Reports in Physics*, Vol. 63, No. 2, P. 543–556 (2011)], autorii și-au propus să dezvolte la elevii lor de liceu competențe pentru cercetarea științifică. A fost concepută o metodă de investigare a unei celule fotovoltaice formată dintr-o joncțiune p-n din siliciu monocristalin, preparată în laborator. Scopul acestei lucrări experimentale a fost ca elevii să înțeleagă fenomenele fizice care apar într-o celulă fotovoltaică și, de asemenea, să își dezvolte abilitățile experimentale și gândirea critică.

Pentru a măsura caracteristica spectrală a celulei fotovoltaice, a fost folosit software-ul Mc-Call Origin cu care au fost trasate și analizate următoarele grafice:

1. Graficul curentului de scurtcircuit în funcție de lungimea de undă a fotonilor incidenti.
2. Caracteristica curent-tensiune la întuneric și, de asemenea, graficul logaritmului natural al intensității curentului electric în funcție de tensiunea electrică aplicată la polarizarea directă, din care au fost determinați factorul de idealitate al diodei și curentul de saturație.
3. Caracteristica curent-tensiune ($I-U$) la iluminare în cadranul IV (în regim de fotoelement) și graficul putere-tensiune ($P-U$).

Baza teoretică folosită în experiment conține o explicație a fenomenelor fizice care au loc într-o joncțiune p-n, o interpretare a graficului curent-tensiune la întuneric, o explicație a fenomenelor fizice care au loc în celula fotovoltaică având în structura sa o joncțiune p-n din siliciu monocristalin și o interpretare a graficului curent-tensiune în condiții de iluminare. Astfel, elevii au trasat caracteristica curent - tensiune și caracteristica putere - tensiune a celulei fotovoltaice cu joncțiune p-n pe siliciu monocristalin, iluminată cu lumină albă de intensitate 20 mW/cm^2 .

Din graficul răspunsului spectral elevii au obținut valoarea $\lambda_{1/2} = 1,08 \mu\text{m}$ și apoi au calculat valoarea energiei benzii interzise a siliciului ca fiind $E_g = 1,14 \text{ eV}$, valoare care este foarte apropiată de valoarea cunoscută de $E_g \approx 1,12 \text{ eV}$ la o temperatură a camerei de aproximativ 300 K .

Folosind graficul curent-tensiune la întuneric, elevii au determinat factorul de redresare al diodei R_R , factorul de calitate al diodei n și intensitatea curentului electric invers de saturație I_o . Pentru tensiunea de $U = 0,5 \text{ V}$, valoarea factorului de redresare determinată de elevi din grafic a fost $R_R = 20$. Pentru determinarea factorului de calitate al diodei, n , care este o măsură a abaterii diodei de la modelul ideal, elevii au logaritmat ecuația Shockley și au trasat graficul logaritmului natural al intensității curentului electric în funcție de tensiunea electrică pe jonțiunea polarizată direct. Din panta dreptei graficului, elevii au determinat valoarea factorului de calitate ca fiind $n = 1,4$ și, din intersecția acesteia cu ordonata, adică cu axa intensității curentului electric la întuneric, au determinat valoarea curentului invers de saturație ca fiind $I_o = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ A}$. Valoarea folosită pentru potențialul termic a fost $V_T = 0,025 \text{ V}$, valoare corespunzătoare unei temperaturi a camerei de aproximativ 300 K .

Elevii au folosit cadranul IV al graficului curent - tensiune la iluminare al diodei pentru a determina valoarea tensiunii la bornele celulei fotovoltaice la circuit deschis și, de asemenea, pentru a determina valoarea intensității curentului de scurtcircuit prin celula fotovoltaică: $U_{oc} = 0,5 \text{ V}$, $I_{sc} = 3,89 \text{ mA}$.

Pentru a determina cu precizie factorul de umplere, elevii au trasat graficul putere-tensiune și au obținut următoarele valori: $U_m = 0,42 \text{ V}$ și $I_m = - 3,2 \text{ mA}$, $FF = 0,74$. Folosind datele obținute anterior, elevii au determinat randamentul celulei fotovoltaice ca având valoarea $\eta = 7,3\%$.

În procesul de predare/învățare descris anterior, elevii au înțeles mecanismul efectului fotovoltaic atât teoretic, cât și practic, prin efectuarea de experimente care le-au permis să aprofundeze cunoștințele teoretice dobândite, să-și îmbunătățească abilitățile experimentale, să fie capabili să interpreteze grafice și să caracterizeze energia celulelor fotovoltaice.

4.3.3. În articolul „Un nou laborator la distanță pentru studiul celulelor fotovoltaice” [24 - P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila: “A New Remote Laboratory for the Photovoltaic Cells Study”, *International Conference Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2008, Kassel Press (2008)*], autorii au creat un laborator la distanță pentru

experimente cu celule fotovoltaice, care le-a permis elevilor să înțeleagă cum funcționează celulele fotovoltaice și cum ar putea să determine și să interpreteze parametrii acestora.

A fost folosită platforma NI ELVIS (National Instruments Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite), care este o platformă de prototipare concepută pentru cercetare și educație inginerască. Astfel, laboratorul lor la distanță pentru celulele fotovoltaice a constatat din placa NI ELVIS, care este platforma hardware, și din software-ul NI ELVIS, care este mediul software corespunzător. Componentele laboratorului la distanță au fost: o placă DAQ NI PCI-MIO-16E-1 ca placă NI ELVIS, o celulă fotovoltaică, un mecanism de deplasare și un mecanism de rotire a celulei fotovoltaice, un termostat pentru controlul temperaturii, o sursă de lumină, care asigură iluminarea necesară pentru simularea luminii solare, un alimentator al sursei de lumină și un PC.

Pentru a determina parametrii caracteristici ai celulelor fotovoltaice, a fost creat un software în LABVIEW, format din patru module: Măsurări, Fitting, Rezistență în serie și Salvare. Modulul numit „Măsurări”, realizează reprezentarea grafică a caracteristicilor curent - tensiune și putere - tensiune. Comandând intrarea X a dispozitivului de înregistrare XY, poziția sursei de lumină ar putea fi schimbată pe o distanță de 20 cm și, astfel, iluminarea celulei solare ar putea fi variată în intervalul de 100W/m^2 - 1000W/m^2 . Modulul numit „Fitting” trasează caracteristica curent-tensiune și calculează parametrii celulei solare. Modulul numit „Rezistență în serie” conține submodule care permit utilizarea unor metode diferite de determinare a rezistenței în serie. Ultimul modul, numit „Salvare”, salvează datele obținute în timpul experimentelor.

4.3.4. În articolul „Celule solare realizate manual din clorofilă pentru predarea la liceu a efectului fotovoltaic în structuri pe bază de semiconductori biologici”, autorii propun realizarea unei celule solare având un cost redus, folosind un film subțire obținut în mod natural din clorofilă, extras din frunzele unei specii de cartof [28 - C. V. Restrepo, E. Benavides, J. C. Zambrano, V. Moncano, E. Castro, *Int. J. Ambient Energy*, 1654–1660 (2020)]. În aceste experimente, clorofila acționează ca un semiconductor organic biologic de tip p, absorbind puternic lumina, remarcându-se în spectrul de absorbție vârful de absorbție asociat benzii Sorret, centrat pe lungimea de undă de 420 nm și, respectiv, cel aparținând benzii Q, corespunzător lungimii de undă de 660 nm. Datorită simplității preparării celulelor solare în acest mod, elevii de liceu au reușit să dezvolte o celulă fotovoltaică cu film subțire din clorofilă. Ei au folosit electrozi de nichel-argint și, în aceste

condiții, au obținut o tensiune în circuit deschis de aproximativ 1V, pentru o celulă, iar, pentru un mic modul de zece celule conectate în serie, au obținut o tensiune în circuit deschis de 9,3V.

4.3.5. În articolul „O recenzie critică a celulelor fotovoltaice bazate pe heterojuncțiuni cu pelicule subțiri din materiale organice monomerice și polimerice”, autorii au făcut o evaluare a proprietăților tuturor tipurilor de configurații ale celulelor fotovoltaice organice bazate atât pe absorbânți molecule mici, cât și polimerici [29 - S. Antohe, S. Iftimie, L. Hrostea, V.A. Antohe, M. Girtand, *Thin Solid Films* **642**, 219 – 231 (2017)]. Avantajul utilizării materialelor organice în celulele fotovoltaice este că acestea au capacitatea de a absorbi fotoni pe întregul spectru solar datorită structurii atomilor de carbon [30]. Aceștia au făcut o scurtă istorie a evoluției celulelor solare organice, de la prima generație a structurilor senșiș în care un singur strat organic de film subțire cu molecule mici este depus între două metale cu lucruri de extractive diferite, până la celulele organice cu trei straturi. Pentru a îmbunătăți randamentul și stabilitatea celulelor fotovoltaice organice, arhitecturile lor au fost modificate prin introducerea de straturi de interfață (cum ar fi PEDOT:PSS) între electrodul anorganic transparent și stratul activ din material organic. Materialele active utilizate în celulele solare pot fi de natură monomerică sau polimerică. S-au făcut cercetări atât pentru a îmbunătăți proprietăților celulelor solare monomerice și, respectiv, polimerice, cât și tehnologia utilizată în metodele lor de preparare.

Autorii au prezentat procedurile experimentale utilizate în pregătirea probelor de celule solare monomerice și polimerice. În primul rând, aceștia au analizat caracteristicile curent-tensiune, fotogenerarea purtătorilor de sarcină electrică, comportamentul și parametrii specifici structurilor active monostrat, strat dublu și cu trei straturi. Pe baza analizei diferitelor tipuri de celule solare monomerice, concluzia autorilor a fost aceea că performanța acestora tinde să crească pentru celule cu două straturi sau cu trei straturi mixte comparativ cu cele cu un singur strat, datorită unei absorbții îmbunătățite a luminii, unei generări și unei separări mai eficiente a sarcinilor electrice, unui control mai bun dat de morfologia celulei și datorită pierderilor mai reduse de energie. În al doilea rând, ei au luat în considerare structurile monostrat, strat dublu și amestec activ de P3HT:PCBM(1:1) în structuri ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al și au trasat atât caracteristica curent-tensiune a acestora, cât și graficul eficienței cuantice externe procentuale (EQE%) în funcție de lungimea de undă a radiației incidente. Forma graficului eficienței cuantice

externe procentuale oferă atât informații despre caracteristicile de absorbție ale dispozitivului cât și despre eficiența conversiei fotovoltaice a fotonilor incidenți în curent electric pentru fiecare lungime de undă.

În structura stratului de amestec menționată mai sus, lumina trece prin electrodul transparent ITO (oxid de indiu și staniu) (TCO - Oxid Transparent și Conductor), ajunge la stratul de amestec activ (P3HT:PCBM), unde este absorbită. Fotonii absorbiți generează excitoni (perechi electron-gol), deci sunt fotogenerați purtători de sarcină dezechilibru. La interfața dintre componente P3HT și PCBM, are loc disocierea excitonilor prin separarea electronilor și golurilor. Golurile se deplasează prin P3HT către stratul de PEDOT: PSS(Poli(3,4-etilendioxitiofen): polistiren sulfonat), în timp ce electronii trec prin PCBM către electrodul de aluminiu. Sarcinile electrice separate sunt injectate în circuitul exterior participând la generarea fotocurentului.

În timp ce fotogenerarea de purtători de sarcină electrică (electroni și goluri) este de obicei mai puternică într-un amestec de materiale organice electrodonatoare și electroacceptoare, pot exista provocări legate de pierderile de purtători de sarcină electrică în amestecurile organice utilizate în dispozitivele fotovoltaice. Unul dintre factorii principali care contribuie la aceste pierderi este existența în interiorul amestecului a domeniilor izolate de material donor sau acceptor.

În amestecurile organice, materialele donatoare și acceptoare sunt de obicei amestecate la scară nanometrică pentru a crea o rețea interpenetrantă, permițând separarea și colectarea eficientă a purtătorilor de sarcină electrică. Cu toate acestea, este comun pentru unele regiuni în amestec să conțină o concentrație mai mare de material donor sau acceptor, rezultând de aici domenii izolate. Aceste domenii izolate pot acționa ca niște capcane pentru purtătorii de sarcină electrică. Când un purtător de sarcină electrică difuzează într-un domeniu izolat, poate rămâne captiv și incapabil să contribuie la fluxul general de curent. Acest fenomen duce la recombinarea sau pierderea purtătorului de sarcină electrică, reducând eficiența generală a dispozitivului.

Similar cu celulele solare monomerice, autorii au analizat diferitele tipuri de celule solare polimerice și au ajuns la concluzia că celulele solare având structuri dublu strat și cele având structuri amestecate au o performanță superioară datorită unei absorbții mai bune a luminii, unei disocieri mai eficiente a excitonilor, unei morfologii și unei separări optime a fazelor și datorită unei stabilități mai bune. Concluzia la care au ajuns autorii a fost aceea că, în structurile fotovoltaice bazate pe molecule mici, obținerea unei eficiențe mai mari implică, de obicei, structuri

dublu strat sau structuri multistrat pentru utilizarea mai multor materiale active, având spectre complementare de absorbție a luminii și, de asemenea, presupune lărgirea regiunii fotoactive și optimizarea arhitecturii structurii, pentru a se obține o rezistență serie mică, o rezistență de șunt mare și o colectare eficientă a purtătorilor de sarcină electrică. Deși acești factori pot duce la o stabilitate bună în timp a dispozitivului, totuși, lor le corespund costuri relativ mai mari pentru realizarea acestor structuri.

Analizând celulele fotovoltaice mai puțin costisitoare, bazate pe pelicule subțiri polimerice, autorii au concluzionat că eficiența ridicată poate fi obținută cu structuri dublu strat și, în special, cu amestecuri polimerice. În aceste amestecuri, heterojuncțiunile donor – acceptor responsabile pentru disocierea excitonilor și separarea purtătorilor de sarcină sunt distribuite în întregul volum al peliculei subțiri, formând structuri de heterojuncțiuni în volum (Bulkheterojunctions).

Cu eficiențe de aproximativ 10-11% și cu un cost de producție mai mic, celulele solare polimerice pe bază de film subțire dețin un potențial ridicat pentru aplicații comerciale ce se adresează consumatorilor cu consum redus de energie. Cu toate acestea, stabilitatea la îmbătrânire a acestor sisteme este slabă.

Pentru a se ocupa de aceste probleme, cercetătorii au încercat diverse strategii. Una dintre abordări implică încorporarea de straturi tampon, cum ar fi un strat bun transportor de goluri (HTL) cum este polimerul PEDOT:PSS pentru transportul golurilor și, respectiv, un strat bun transportor de electroni (ETL) cum este cel de LiF pentru transportul electronilor între absorbant și electrodul colector de electroni, folosit dominant în lucrările prezentate în acest articol de sinteză.

Această optimizare îmbunătățește performanța și stabilitatea la îmbătrânire a celulelor fotovoltaice, prin facilitarea unui transport mai eficient al purtătorilor de sarcină electrică și prin reducerea pierderilor la interfețe. De asemenea, având în vedere limitele derivaților de fuleren ca acceptori într-un amestec convențional P3HT:PCBM, sunt investigate noi celule organice eficiente, bazate pe acceptori care nu sunt derivați de fuleren [32-35]. Cu același scop, se încearcă folosirea unor materiale pentru absorbția luminii, care să înlocuiască sistemul dublu strat cu unul cu trei straturi, crescând astfel substanțial eficiența celulelor fotovoltaice organice [36-38].

În plus, înlocuirea electrozilor pe baza oxidului conductor convențional transparent ITO cu electrozi formați din oxizi conductori transparenți alternativi, cum ar fi ZnO, IZO sau IGZO, a confirmat previziunea cercetătorilor de îmbunătățire a performanței și a stabilității celulelor solare

polimerice. Aceste materiale alternative, folosite în realizarea electrozilor, oferă o colectare mai bună a purtătorilor de sarcină electrică și o rezistență mai mică, contribuind la o îmbunătățire generală a performanței celulelor fotovoltaice.

4.3.6. Concluzii parțiale

Sintetizând principalele aspecte și rezultate ale recenziei privind celulele fotovoltaice, se poate concluziona că existența cursurilor de fizică de complexitate ridicată le poate oferi elevilor de liceu o cunoaștere profundă a conceptelor mecanicii cuantice, a electromagnetismului, a nanotehnologiei, a fizicii semiconductoarelor și a ingineriei electrice, concepte care stau la baza multor tehnologii emergente și care sunt esențiale pentru înțelegerea comportamentului celulelor fotovoltaice. Înțelegerea fenomenelor fizice din spatele celulelor fotovoltaice este esențială pentru elevii care sunt interesați să urmeze o carieră în domeniul energiei regenerabile și în domenii conexe. În plus, cursurile avansate de fizică pot ajuta elevii să își dezvolte gândirea critică, abilitățile analitice și de rezolvare a problemelor, abilități foarte apreciate în multe domenii [39].

Astfel, pentru elevii de liceu interesați de studii universitare în domeniul tehnologic, existența cursurilor de fizică de complexitate ridicată a devenit din ce în ce mai pregnantă datorită evoluției tehnologice și datorită creșterii importanței utilizării energiei regenerabile în abordarea provocărilor ridicate de schimbările climatice.

Bibliografie

1. P. Jennings, *Renew. Energy*. **34**(2), 435–439 (2009).
2. C. Radu, O. Toma, I. Antohe, C. Miron, Ș. Antohe, *A Critical Review of The Photovoltaic Effect Teaching in High-School*, *Romanian Reports in Physics XX, XYZ* (2024).
3. J. Saba, H. Hel-Or, S. Levy, *Promoting learning transfer in science through a complexity approach and computational modeling*, *Instructional Science* 51:475–507 (2023).
4. National Research Council. 2013. *Adapting to a Changing World: Challenges and Opportunities in Undergraduate Physics Education*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18312> (2013).
5. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A221%3AFIN&qid=1653034500503> (2022).
6. F. Iofciu, C. Miron, S. Antohe, *Studying Advanced Science Concepts Using Constructivist Strategies in Middle and High School*, *Romanian Reports in Physics*, Vol. 65, No. 2, P. 591–605 (2013).
7. A. Gero, H. Essami, O. Danino, L. Kornblum, *Students' Attitudes Toward Interdisciplinary Learning: A High-School Course on Solar Cells*, *International Journal of Engineering Education* Vol. 38, No. 4, pp. 1130–1140 (2022).

8. C. Radu, Questionnaire About Romanian Physics High School Curriculum, AIP Conf. Proc. **2843**(1), 050012 (2023).
9. N. Dina, S. Craciun, M. Bulgariu, S. Antohe, Teaching of Alternative Energy Sources in Romanian School, Romanian Reports in Physics, Vol. **64**, No. 3, P. 868–877 (2012).
10. M. Garabet, I. Neacsu, F. Popescu, Approach of Teaching about Photovoltaic Cell in High School, Romanian Reports in Physics, Vol. **62**, No. 4, P. 918–930 (2010).
11. C. G. Bostan, N. Dina, M. Bulgariu, S. Craciun, M. Dafinei, C. Chitu, I. Staicu, S. Antohe, Teaching/Learning Photovoltaic Effect in High School, Romanian Reports in Physics, Vol. **63**, No. 2, P. 543–556 (2011).
12. W. Shockley and W. T. Read, Phys. Rev. **87**(5), 835–842 (1952).
13. S. I. Fonash, *Solar Cell Device Physics*, Academic Press, New York (1983).
14. S. Antohe, L. Tugulea, Phys. Status. Solidi. (A) Appl. Res. **128**(1), 253–260 (1991).
15. S. Antohe, Rev. Roum. Phys. **37**, 309–313 (1992).
16. S. Antohe, Phys. Stat. Sol. (a) **136**(2), 401–410 (1993).
17. S. Antohe, L. Tugulea, V. Gheorghe, V. Ruxandra, I. Căplanus and L. Ion, Phys. Stat. Sol.(a), **153**(2), 581–588 (1996).
18. S. Antohe, V. Ruxandra, L. Tugulea, V. Gheorghe, D. Ionascu, J. Phys. III, **6**(8), 1133–1144 (1996).
19. S. Antohe, L. Ion, N. Tomozeiu, T. Stoica, E. Barna, Sol. Energy Mater. Sol. Cells. **62**(3), 207–216 (2000).
20. H. J. Banda, J. Nzabahimana, Journal of Science Education and Technology **32**(1), 127–141 (2023).
21. J. Brinson, Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research, Computers & Education, **87**, 218-237 September (2015).
22. M. García-Famoso and R. Rallo, Towards the integration of remote laboratories into learning management systems, Proc. 10th IEEE ETFA **2**, 1031-1037 (2005).
23. C. Kuncser, S. Antohe, About Conceptual and Methodological Approaches in Remote Laboratory, Romanian Reports in Physics, **66**(4), P. 1226–1235 (2014).
24. P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila: “A New Remote Laboratory for the Photovoltaic Cells Study”, International Conference Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2008, Kassel Press (2008).
25. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.
26. W. Saidi, N. Hfaïdh, M. Rasheed, M. Girtan, A. Megriche, M. El Maaoui, RSC Adv. **6**(73), 68819 – 68826 (2016).
27. C. Sima, C. Grigoriu, O. Toma, S. Antohe, Thin Solid Films **597**, 206 – 211 (2015).
28. C. V. Restrepo, E. Benavides, J. C. Zambrano, V. Moncano, E. Castro, Int. J. Ambient Energy, 1654–1660 (2020).
29. S. Antohe, S. Iftimie, L. Hrostea, V.A. Antohe, M. Girtand, Thin Solid Films **642**, 219 – 231 (2017).
30. S. Antohe, Electronic and optoelectronic devices based on organic thin films, in H.S. Nalwa (Ed.), Handbook of Organic Electronics and Photonics, American Scientific Publishers, 1–42, (2006)
31. B.A. Gregg, M.C. Hanna, Comparing organic to inorganic photovoltaic cells: theory, experiment, and simulation, J. Appl. Phys. **93**, 3605–3614 (2003).

32. X. Che, Y. Li, Y. Q and S. R. Forrest, *Nat. Energy* **3**(5), 422–427 (2018).
33. J. Yuan, Y. Zhang, L. Zhou, G. Zhang, H.-L. Yip, T.-K. Lau, X. Lu, C. Zhu, H. Peng, P.A. Johnson, M. Leclerc, Y. Cao, J. Ulanski, Y. Li, Y. Zou, *Joule* **3**(4), 1140–1151 (2019).
34. Y. Cui, H. Yao, J. Zhang, T. Zhang, Y. Wang, L. Hong, K. Xian, B. Xu, S. Zhang, J. Peng, Z. Wei, F. Gao, J. Hou, *Nat. Commun.* **10**, 2515 (2019).
35. A. I. Radu, V-A Antohe, S. Iftimie, A. Radu, M. Filipescu, L. Ion, M. Dinescu, Ș. Antohe, *Appl. Surf. Sci.* **531** 147332 (2020).
36. G. Zhang, K. Zhang, Q. Yin, X.F. Jiang, Z. Wang, J. Xin, W. Ma, H. Yan, F. Huang, Y. Cao, J. Am. Chem. Soc. **139**(6) 2387–2395 (2017).
37. Y. Xie, F. Yang, Y. Li, M.A. Uddin, P. Bi, B. Fan, Y. Cai, X. Hao, H.Y. Woo, W. Li, F. Liu, Y. Sun, *Adv. Mater.* **30**(38), 803045 (2018).
38. A. I. Radu, V. A. Antohe, S. Iftimie, I. Antohe, M. Filipescu, A. Radu, D. Coman, M. L. Stîngescu, M. Dinescu, S. Antohe, *Mater. Today Commun.* **33**, 104757 (2022).
39. J. Gollub, R. Spital, *Phys. Today* **55**(5), 48–53 (2002).

5. CONCLUZII GENERALE

Tehnologia a devenit o parte integrantă a vieții cotidiene, de la utilizarea smartphone-urilor și a internetului până la inteligența artificială și la automatizare. Acest mediu digital stimulează interesul elevilor și al societății pentru domeniile STEM (Știință, Tehnologie, Inginerie și Matematică). Această tendință trebuie să fie susținută prin politici educaționale.

Conștientizarea publicului și educația privind impactul acțiunilor umane asupra mediului sunt, de asemenea, necesare pentru a stimula comportamente sustenabile. Evoluțiile rapide în tehnologia fotovoltaică, cum ar fi panourile solare cu eficiență ridicată și stocarea energiei, fac ca acest domeniu să fie cel mai dinamic de pe piața tehnologiilor verzi. Studiarea efectului fotovoltaic pentru diverse structuri de celule fotovoltaice este crucială pentru formarea unor specialiști bine pregătiți, capabili să aplice și să dezvolte tehnologii solare sustenabile și eficiente.

Obiectivele acestei lucrări au fost următoarele:

1. Realizarea unei cercetari privind necesitatea actualizării programei naționale de fizică la liceu, atât în ceea ce privește capitolele abordate cât și ponderea acestora în programa școlară
2. Realizarea unei cercetari privind necesitatea dezvoltării strategiilor de furnizare a conceptelor de fizică la liceu folosind tehnologia modernă

3. Exemplificarea dezvoltării strategiilor de furnizare a conceptelor de fizică la liceu folosind ca strategie educațională mobile-learningul.
4. Exemplificarea actualizării programei naționale de fizică la liceu prin realizarea unei recenzii a articolelor despre celulele fotovoltaice, articole ce cuprind atât cercetări privind îmbunătățirea performanțelor celulelor fotovoltaice cât și propuneri de prezentare teoretică a acestora în cadrul orelor de fizică și de realizare de experimente ce pot fi efectuate în cadrul laboratorului școlar pentru caracterizarea celulelor fotovoltaice.

Obiectivul 1

Am realizat o cercetare cu titlul „Questionnaire about Romanian Physics High School Curriculum”, privind actualizarea programei naționale de fizică la liceu.

Concluziile sondajului au fost următoarele:

- în proporție de 100%, respondenții acestui sondaj, studenți care frecventează universități tehnice, absolvenți ai unor universități tehnice și absolvenți de liceu teoretic de la profilul real, și-au dorit actualizarea programei naționale de fizică la noile tehnologii și au fost interesați de resursele regenerabile.

- aproximativ 90% dintre aceștia au considerat important să învețe despre celulele fotovoltaice.

- au fost interesați în proporție de 100% de existența unor cursuri opționale de fizică, pe care să le frecventeze în timpul liceului și care să le ofere competențele necesare pentru a se adapta atât unui traseu universitar într-un domeniul STEM, cât și pe piața muncii într-un domeniul tehnologic.

Obiectivul 2

Închiderea școlilor și a universităților pentru a limita răspândirea COVID-19 a dus la o tranziție bruscă și, în cele mai multe cazuri, neplanificată către educația online. Profesorii, elevii și părinții au fost nevoiți să se adapteze rapid la noile realități, folosind platforme de e-learning și instrumente digitale. La sfârșitul anului școlar 2019-2020, adică chiar la sfârșitul perioadei de învățare forțată din cauza pandemiei COVID-19, am realizat o cercetare cu titlul „Online teaching and learning - An educational paradigm”, privind impactul noilor strategii digitale de furnizare a educației asupra unora dintre beneficiarii săi direcți: elevii din învățământul preuniversitar.

Concluziile sondajului au fost următoarele:

- educația online, folosind platforme educaționale, nu ridică o barieră de comunicare între profesor și elevii săi, ci dimpotrivă, este posibil să îmbunătățească interacțiunea și cooperarea.
- pentru că în mediul virtual sunt greu de replicat momentele de învățare care apar în mod spontan într-o sală de clasă: discuții laterale între colegi, întrebări puse pe loc, observarea reacțiilor colegilor și interacțiuni care nu fac parte din planul lecției, 64,2% dintre respondenți nu ar considera o opțiune bună să înlocuiască cursurile desfășurate în clasă, cu cele desfășurate online
- mediul virtual poate oferi anumite avantaje, cum ar fi flexibilitatea programului de studiu, de aceea marea majoritate a respondenților ar prefera să acceseze în ritmul lor propriu prezentarea online a subiectelor și nu să participe la cursuri online după un program zilnic.
- un alt avantaj oferit de mediul virtual este accesul la resurse digitale, de aceea marea majoritate a respondenților ar prefera să parcurgă în ritmul lor propriu documente, prezentări digitale de tipul PowerPoint sau videoclipuri, aspect ce poate încuraja învățarea activă de tipul flipped learning.
- rolul profesorului a început să se schimbe, el nu mai este un transmițător de cunoștințe, ci devine un mediator de învățare
- învățarea online are limitări când vine vorba de realizarea experimentelor practice. În mediul online pot fi realizate simulări. Simulările sunt o alternativă utilă, dar acestea pot rareori replica complexitatea unui experiment real. Nu toate fenomenele pot fi reproduse fidel într-un mediu virtual, iar simulările pot simplifica sau omite detalii importante, ceea ce poate duce la o înțelegere incompletă a conceptelor. Percepția elevilor cu privire la înlocuirea experimentelor reale de laborator cu experimente virtuale, prin utilizarea platformelor interactive de simulare, a fost următoarea: 50,7% dintre ei au răspuns că simulările nu pot înlocui experimentele reale, iar 40,3% au considerat că simulările pot înlocui experimentele reale, dar într-o mică măsură, iar restul de 9% au preferat experimentele virtuale celor reale.
- 53,8% dintre respondenți nu au fost interesați de flipped classes, adică nu au fost interesați să își asume responsabilitatea să studieze materialul nou acasă, înainte de a fi discutat la școală, deoarece preferă ca profesorii lor să îi învețe noile concepte, indiferent de gradul lor de dificultate.
- în ceea ce privește cursurile mixte (blended classes), parțial față-în-față și parțial online, la întrebarea dacă și-ar dori ca în viitor activitatea online să facă parte din practicile educaționale,

49% dintre ei au fost de acord, într-o măsură mai mare sau mai mică, cu acest lucru, iar 51% dintre ei nu, adică, practic, procente sensibil egale.

- elevii apreciază educația online în primul rând pentru flexibilitatea acesteia.
- 64,8% dintre respondenți au apreciat educația online furnizată în perioada pandemiei Covid-19 ca fiind eficientă, iar 11% au evaluat-o ca fiind foarte eficientă.
- în perioada pandemiei Covid-19, 87% dintre respondenți au petrecut mai puțin de 15 ore pe săptămână studiind online, comparativ cu 30 de ore pe săptămână, în învățământul tradițional.

Obiectivul 3

Strategia mobile-learning s-a dovedit a fi ideală pentru a fi utilizată în educație, oferind elevilor, la costuri deosebit de reduse, posibilitatea de a învăța fizica în viața de zi-cu-zi prin experimente practice, desfășurate în afara laboratorului clasic și, astfel, de a înțelege mai bine conceptele teoretice. Folosind mobile-learningul ca strategie educațională, a fost utilizată aplicația Phyphox pentru a efectua următoarele lucrări experimentale cu telefonul mobil: „Studiul legii Lambert-Beer”, „Determinarea accelerației unui sistem de referință neinertial”, „Verificarea legii lui Malus”, „Determinarea accelerației centripete”.

Obiectivul 4

- A fost realizată o recenzie a sondajelor privind necesitatea actualizării curriculum-ului de fizică în liceu cu referire la importanța tehnologiei fotovoltaice. Au fost analizate articolele: „Studying advanced science concepts using constructivist strategies in middle and high school” - Studierea conceptelor științifice avansate folosind strategii constructiviste în școala gimnazială și liceu, “Students’ attitudes toward interdisciplinary learning: a high-school course on solar cells”, „Questionnaire about romanian physics high school curriculum” – „Atitudinile elevilor față de învățarea interdisciplinară: un curs de liceu despre celule solare” și “Teaching of alternative energy sources in Romanian school” – „Predarea despre surse de energie alternativă în școala românească”, penultimul articol fiind contribuție personală.
- Rezultatele sondajelor, efectuate în rândul persoanelor interesate de știință și de tehnologie și în rândul elevilor de liceu, a confirmat interesul pentru cursuri de fizică de complexitate ridicată și pentru tehnologia solară fotovoltaică. Aceste cursuri oferă elevilor o înțelegere

mai profundă a conceptelor fundamentale ale fizicii și le permite să-și dezvolte abilitățile și cunoștințele necesare pentru a reuși în domenii care sunt esențiale pentru viitor.

- Înțelegerea proceselor fizice complexe care au loc în celulele fotovoltaice integrează noțiuni de chimie, fizică de nivel superior și, în cazul celulelor fotovoltaice avansate, de generația a III-a și a IV-a, de nanotehnologie.
- Din aceste considerente, am realizat o lucrare de sinteză intitulată „A critical review of the photovoltaic effect teaching in high-school” - „O analiză critică a predării efectului fotovoltaic în liceu”, în care am prezentat modele de investigare și de evaluare a celulelor fotovoltaice în cadrul unor lecții de fizică la liceu, modele din literatura de specialitate.
- De asemenea, am prezentat o sinopsă a diferitelor configurații de celule fotovoltaice de generația I-a și a de generația a III-a, analizând modul în care diverse materiale și structuri influențează eficiența conversiei energiei solare în electricitate.
- Celulele fotovoltaice de generația I-a (celule solare pe bază de siliciu cristalin) și cele de generația a III-a (celule avansate, precum cele cu puncte cuantice, perovskite sau celule tandem) utilizează principii fizice diferite, care trebuie explicate clar.
- Sunt prezentate și comparate performanța, costurile de producție și aplicațiile practice ale celulelor solare din cele două generații: cele de generația I-a au eficiență mare, stabilitate ridicată, dar costuri mai mari, iar cele de generația a III-a au costuri reduse și performanță superioară, dar sunt încă în stadiu de cercetare în privința durabilității.

Concluzionând, putem spune că dezvoltarea tehnologică accelerează schimbarea paradigmei educaționale, prin trecerea de la învățarea desfășurată în spațiul tradițional al clasei către medii online, ceea ce impune adaptarea continuă a strategiilor didactice la noile realități tehnologice și educaționale. Această teză de doctorat în fizica educațională explorează noi direcții de integrare a tehnologiilor mobile în procesul didactic, facilitând învățarea activă și accesibilă pentru elevi prin realizarea de experimente interactive cu ajutorul telefonului mobil. Pe baza unor sondaje aplicate în rândul elevilor și studenților, cercetarea a evidențiat necesitatea modernizării curriculumului național de fizică la nivel liceal, în special în ceea ce privește predarea efectului fotovoltaic. Analiza critică a unor articole dedicate predării acestui subiect în liceu oferă puncte de plecare valoroase pentru elaborarea unor curricule interdisciplinare moderne, adaptate cerințelor educației STEM contemporane.

Contribuții personale

1. Lucrări științifice publicate pe domeniul tezei, în reviste cotate ISI

[1] *Integrating smartphone and hands-on activities to real experiments in physics*, Marilena COLȚ, **Corina RADU**, Ovidiu TOMA, Cristina MIRON, Vlad-Andrei ANTOHE. *Romanian Reports in Physics* **72** (4) , 905 (2020) IF=1.8; AIS=0.268

[2] *Physics classes enhanced by smartphone experiments*, **Corina RADU**, Ovidiu TOMA, Ștefan ANTOHE, Vlad-Andrei ANTOHE, Cristina MIRON, *Romanian Reports in Physics* **74** (4) , 908 (2022) IF=2.7; AIS=0.245

[3] *A critical review of the photovoltaic effect teaching in high-school*, **Radu, C.**; Toma, O.; Antohe, I.; Miron, C.; Antohe, S. *Romanian Reports in Physics*, **76** (1) 901, (2024), DOI 10.59277/RomRepPhys.2024.76.901 IF=2.1; AIS=0.184

[4] *Effects of annealing on the physical properties of ito thin films grown by radio frequency magnetron sputtering*, Radu, A.; Locovei, C.; Antohe, V. A.; Socol, M.; Coman, D.; Manica, M.; Dumitru, A.; Dan, L.; **Radu, C.**; Raduta, A. M.; Ion, L.; Ifimie, S.; Antohe, S. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures*, **15** (3) 679, (2020), DOI 10.15251/djnb.2020.153.679 IF=1.0; AIS=0.106

IF=7.6; AIS=0.803

2. Lucrări științifice publicate în reviste indexate ISI

[1] *Online Teaching and Learning - An Educational Paradigm*, **Radu, C**; Colt, M; and Antohe, I ., 2020 *PROCEEDINGS OF THE 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL LEARNING (ICVL-2020)* , pp.206-213, Edited by Vlada, M ; Albeanu, G ; Adascalitei, A; Popovici, M

3. Lucrări științifice prezentate de la platformă sau ca poster la conferințe internaționale și naționale în domeniul tezei

C. Radu, Questionnaire About Romanian Physics High School Curriculum, AIP Conf. Proc. **2843**(1), 050012 (2023).