

ELUDAREA CONCEPTELOR ERONATE ÎN FIZICĂ ÎN CADRUL CURSURILOR OPȚIONALE

Daniel Ovidiu CROC NAN

Universitatea de Stat din Tiraspol

From an expert point of view, misconceptions are false solutions a student develops as a response of hypotheses. Misconceptions have varied sources and different intensities of the way they govern the mental model of student mind. These, could determine different actions a teacher develops to help students to overpass them. During the implementation of an optional named „Elements of Biophysics” to 17-18 years old students, I identified different kinds of misconceptions. Two of these are evoked in this work, one as a result of the extrapolation of calculus developed during a learning experience, the other one as a lack of enough information the student has to develop a hypothesis. The way I succeeded in surpassing these misconceptions was also resumed. Even if many works determined lists of physics misconceptions established for students of different ages, the integrated optional - the optional as a new discipline - is not the case. In these situations, only the teacher’s experience is the main factor in the success of misconceptions identification, as a first step to theirs exceed.

Concepte eronate – surse

Din studiile întreprinse în ultimele decenii [1, 2, 3, 4] s-a evidențiat că la baza unui număr semnificativ de probleme pe care le întâmpină un elev în învățarea fizicii stau conceptele eronate. Incluse cu efort în modelul său mental [5], conceptele eronate pot fi considerate piedici majore în însușirea modelului disciplinei, așa cum apare acesta în mintea expertului. Conceptele eronate au surse variate de proveniență. Ele pot fi externe sau interne actului educațional exercitat în școală. Din cadrul primei categorii pot fi menționate: noțiunile preconcepuate – concepte din popor devenite cutume datorită experienței de fiecare zi; opiniile neștiințifice – includ explicații din alte surse decât cele științifice (religie, mitologie etc.); neînțelegerile conceptuale – având originea în informații științifice furnizate într-un mod care nu confruntă elevul cu paradoxuri rezultate din relaționarea acestora cu unele noțiuni preconcepuate sau opinii neștiințifice; neînțelegeri conceptuale de limbaj – datorate utilizării unor cuvinte care au un înțeles în vorbirea de zi cu zi și alta în context științific; concepții factual incorecte – învățături eronate la vârste fragede care se regăsesc mai târziu, deoarece nu sunt expuse confruntărilor.

Dacă acestea sunt considerate surse tradiționale ale conceptelor eronate, dintre sursele moderne poate fi menționată mass-media (ziare, reviste, TV, internet, cinematografie etc.) care adesea, în goană după senzațional, introduce direct sau la nivel subliminal concepte eronate. Un exemplu în acest sens poate servi conservarea impulsului. Unele filme de acțiune ne-au obișnuit cu scene în care eroul împușcă un personaj negativ. În urma ciocnirii cu glonte, cel din urmă este aruncat la câțiva pași înapoi, suficienți pentru a sparge o fereastră și a cădea de la etajul clădirii în care are loc acțiunea. O scenă de acest tip demonstrează ignorarea unuia dintre principiile de bază ale fizicii, și anume, legea conservării impulsului. Potrivit acestui principiu, impulsul total al unui sistem izolat se conservă. Ca urmare, dacă inițial trăgătorul se află în repaus, adică, sistemul trăgător–pistol are impulsul zero, impulsul trebuie să rămână același și după tragere. În momentul tragerii impulsul sistemului se redistribuie între glonte și erou, cel din urmă suferind odată cu pistolul o mișcare de recul. Presupunând că masa eroului și a personajului negativ sunt aproximativ egale, în condițiile în care cel din urmă este aruncat de impactul cu glonte la distanță după cum povesteam scena din film, ar trebui ca și eroul, în momentul tragerii, să sufere un recul similar, ceea ce în cele mai multe cazuri nu se întâmplă.

Cea de-a doua categorie de surse ale conceptelor eronate sunt cele interne școlii. Una dintre surse poate fi chiar profesorul, dacă explicațiile lui suferă de prea mare lejeritate. De exemplu, o exprimare de genul: „Vara, Polul nord este îndreptat spre Soare în timp ce iarna este îndepărtat de acesta.” Profesorul se referea la axa de rotație a Pământului, dar imaginea zugrăvită prin cuvintele sale ar putea sugera elevului o mișcare oscilatorie a axei de rotație între cele două poziții.

O altă sursă de erori pot fi manualele. Informațiile, adevărate sau false, sunt trecute dintru-un manual în altul răspândindu-se. Cu cât apare în mai multe manuale, cu atât informația devine mai credibilă și are șanse să apară în și mai multe, ducând la o proliferare exponențială. Informația poate fi preluată de alți și alți autori

care, fără a o mai verifica, o vor reproduce conferindu-i o și mai mare credibilitate. Cauzele care determină strecurarea unor concepte eronate într-o carte pot fi multiple. Un caz ce poate fi ușor imaginat este acela în care, autorul, fiind elev, a întâlnit eroarea ca atare în cărțile după care a învățat. Aceasta (eroarea) a fost stocată în modelul său mental și, în lipsa unei confruntări care să o scoată la lumină și care să-l oblige la probarea validității, a rămas în stare latentă, neutră până a fost apelată și utilizată sub impresia de a nu comporta riscuri [6]. O posibilitate de apariție a unei erori în cazul manualelor de fizică o constituie vechimea surselor bibliografice utilizate. Drept urmare a înnoirii permanente a științei, a rafinării conceptelor sau chiar a modificării unora dintre acestea, pot apărea concepte eronate din concepte altădată considerate corecte. Odată receptate de elev, conceptele eronate au toate șansele să găsească un teren fertil acreditat de convingerea acestuia în corectitudinea exemplară a manualului. În această bază, elevul nu filtrează informația, nu-și pune întrebări asupra ei, nu o examinează comparând-o cu cea provenită din alte surse, iar informația devine în timp, prin adopție, un concept eronat. Profesorii trebuie să fie atenți la astfel de capcane pe care le poate întâlni elevul său, semnalându-i eroarea și argumentându-i varianta corectă de răspuns.

Modelul mental al disciplinei și conceptul eronat

În cadrul fizicii o mare parte a învățării se face prin analogie. Elevul își construiește cunoașterea prin ceea ce i se oferă. Oferta interacționează cu modelul său mental asupra disciplinei putând determina sau nu dezvoltarea acestuia. Modelul mental se dezvoltă gradat, iar înțelegerea unei probleme determină la rândul ei înțelegerea altor probleme, dacă acestea sunt oferite în corelația și gradația potrivită. Baza conceptuală a acestui model al învățării este dată de constructivism prin lucrările filozofului John Dewey [7] și ale unor psihologi precum: Lev Vygotsky [8], Jean Piaget [9,10] sau Jerome Bruner [11, 12]. Ei propun, în diferite variante, modele în care elevul își construiește activ cunoașterea în context social. Radish [13], de pildă, urmărind cercetările cognitive asupra procesului de învățare din ultimele decenii, consideră că „oamenii tind să-și organizeze experiențele și observațiile în modele mentale”. În acest proces, elevul ca purtător al unor experiențe de învățare anterioare nu-și însușește o simplă listă de conținuturi. El utilizează conținuturile integrându-le în structuri complexe pentru a le putea identifica ulterior și a le corela cu alte conținuturi, acumulate în secvențe de învățare anterioare.

Un concept eronat, care într-un mod sau altul a putut fi inclus într-o astfel de structură, poate crea elevului probleme în încercarea acestuia de a-și acomoda noile concepte. Unul dintre modurile prin care profesorul poate veghea la o construcție corectă a modelului mental al disciplinei este de a preveni apariția unor astfel de situații prin cunoașterea de principiu a conceptelor eronate ce pot apărea, a conținuturilor sensibile în a le da naștere și ale modului lor de manifestare. Dacă pentru capitolele studiate în fizică la liceu există la ora actuală liste de concepte eronate identificate de elevi, ceea ce-l poate face pe profesor să se aștepte și la variante mai mult sau mai puțin subtile ale acestora, în cazul opționalului ca disciplină nouă, integrată, un astfel de avantaj nu există. Mai mult, în acest caz pot apărea concepte eronate din toate domeniile care își aduc contribuția la structurarea programei. Aceasta face ca rolul profesorului, în identificarea și eludarea conceptelor eronate la elev, să devină și mai important.

Conceptul eronat în opționalul integrat

Ca orice alt domeniu al științei, predarea fizicii în liceu, indiferent dacă este vorba de curricula de trunchi comun sau de un opțional proiectat de profesor, este expusă riscului de a introduce în modelul mental al elevului concepte eronate. Curricula de tip opțional „Elemente de biofizică”, pe care am propus-o și am aplicat-o în clasa a XII-a (elevi de 17-18 ani), a avut în vedere completarea programei la fizică și dezvoltarea unei tematici orientate spre dinamica viului, ca sistem și componente, pe de o parte, și, spre aplicații ale fizicii în tehnologia medicală și de cercetare fundamentală a structurilor biologice, pe de altă parte. Opționalul a vizat deschiderea de noi orizonturi atât elevilor care urmăreau dezvoltarea unei cariere medicale sau de cercetare în domeniul biologic, cât și celor ce vizau o carieră tehnică. Construcția acestei curricule a avut ca disciplină-cadru fizica, în baza căreia au fost dezvoltate aplicații de biologie, chimie și calcul matematic. În acest sens, posibilitățile de apariție a conceptelor eronate s-au multiplicat. Aceasta impune din partea profesorului care dezvoltă opționalul o atenție crescută la elementele pasibile de a induce concepte eronate. Sursele acestora pot fi variate, dar o situație deosebită o prezintă conceptele eronate datorate extrapolării unor rezultate calculate în timpul predării sau a unei informații insuficiente a elevului pentru ca acesta să-și poată dezvolta propriile

raționamente. Iată două exemple de concepte eronate întâlnite la elevii din liceu în cadrul derulării opționalului „Elemente de biofizică” și modul în care a fost soluționată depășirea acestora.

Primul exemplu se referă la fenomenul de difuzie. În cadrul discuțiilor care au urmat experimentării difuziei unui colorant într-un pahar cu apă, am întrebat elevii dacă fenomenul apare și la celelalte stări de agregare. Răspunsul a fost afirmativ. Am solicitat elevilor să dea câteva exemple sau să formuleze idei de experimente care ar dovedi fenomenul. Unul dintre elevi a afirmat că putem efectua un experiment simplu, preparând o cafea. Mirosul acesteia se va simți imediat și în camera vecină. Am solicitat opinia clasei cu privire la experiment. Doar doi elevi au susținut fără echivoc că în acest caz este vorba de convecție, dar nici ei nu au reușit să motiveze de ce exemplul nu este indicat în cazul difuziei. Majoritatea elevilor clasei au considerat că, de vreme ce este clar că agitația termică determină difuzia moleculelor odorizante ale cafelei printre cele ale aerului din cameră, pare logic că difuzia este fenomenul ce condiționează răspândirea mirosului. La întrebarea „De ce nu ar putea fi utilizat fenomenul de convecție?”, după cum au afirmat colegii lor, majoritatea au răspuns că „ar putea fi vorba și de convecție, dar mai degrabă de ambele”. Am insistat să aflu care dintre fenomene ar avea un aport mai mare, răspunsul înclinând spre difuzie. De ce elevii au răspuns astfel?

La studiul teoriei cinetico-moleculare a gazului ideal, pe care o reamintisem de curând în cadrul cursului, am calculat viteza termică a oxigenului diatomic pentru o temperatură a camerei de 293 K. Din calcul am obținut:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 293 \text{ K}}{32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}}} = 478 \text{ m/s},$$

unde R este constanta reală a gazelor, iar μ este masa molară.

Elevii și-au amintit rezultatul, susținând că și alte molecule au viteze termice mari. Într-adevăr, calculând viteza termică a moleculelor de 2-furil-metan-tiol ($\text{C}_8\text{H}_8\text{OS}$) cu masa moleculară de 114, unul dintre ingredientele de aromă ale cafelei, viteza termică obținută, la aceeași temperatură, a fost:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \text{ J/molK} \cdot 293 \text{ K}}{114 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}}} = 253 \text{ m/s}.$$

Până în acest moment rezultatul părea a da dreptate adepților difuziei ca fenomen responsabil de răspândirea mirosului, având în vedere că vitezele curenților de convecție sunt cu mult mai mici. Dar la o viteză atât de mare ca cea obținută în acest calcul ar rezulta că timpul după care am simți mirosul cafelei la o distanță de 3 metri, de pildă, ar fi de numai 0,01 secunde, adică aproape instantaneu. Aici a apărut problema, elevii fiind de acord că mirosul nu se răspândește atât de rapid.

În acest caz era clar că ne aflăm în fața unui concept eronat, care poate apărea de cele mai multe ori dacă calculele efectuate în cadrul teoriei cinetico-moleculare se rezumă la cel al vitezei termice. Evident, argumentul privind vitezele termice calculate anterior era greu de contestat fără a recurge la alte calcule.

Plecând de la exemplul moleculei de oxigen, am propus elevilor să calculăm intervalul mediu de timp dintre două ciocniri. În ipoteza gazului ideal lipsa interacțiunii dintre molecule la distanțe mari face ca mișcarea acestora între două ciocniri să fie uniformă. Calculând distanța medie dintre moleculele de oxigen la concentrația la care acestea se găsesc în aer am obținut $3,34 \cdot 10^{-9} \text{ m}$, ceea ce conduce la un interval de timp între două ciocniri de doar $7 \cdot 10^{-12} \text{ s}$.

Mai departe am utilizat un program de calculator (fig.1) care modela agitația termică a unui ansamblu de molecule. Elevii au fost de acord că în urma ciocnirii, direcția moleculei se schimbă și că semnificația acestui fapt asupra mișcării particulei denotă că drumul acesteia, într-o mare populație de particule, este complet haotic.

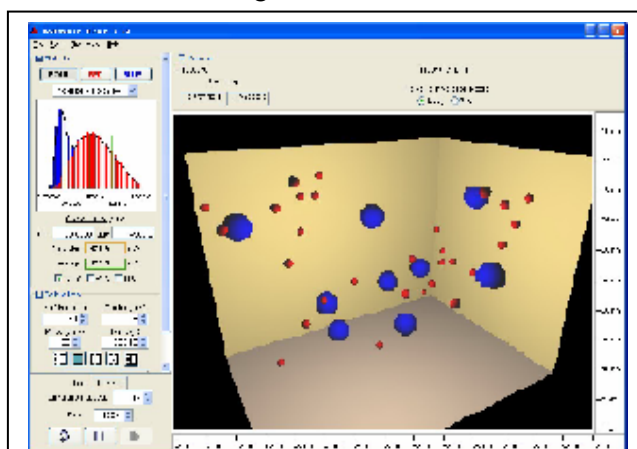


Fig.1

În acest moment le-am reamintit elevilor că la calculul relației presiunii unui gaz ideal am presupus că moleculele au viteze variate, dar că media acestor viteze este viteza termică.

Utilizând cunoștințele elevilor despre probabilități, i se poate induce elevului ideea că nu toate vitezele sunt la fel de probabile și că este posibil ca cel mai mare număr dintre particule să aibă viteze apropiate de viteza medie. Este momentul în care am introdus forma distribuției gaussiene (fig.2) și potrivit graficului am demonstrat că procentul de particule care se deplasează pe o direcție x față de poziția

inițială este proporțional cu: $e^{-\frac{x^2}{4Dt}}$, unde D este constanta de difuzie (cu dimensiune de m^2/s) a cărei valoare depinde de particula care difuzează și mediul de difuzie.

Utilizând drumul liber mediu în aer și teorema echipartiției, am calculat cu elevii că într-un minut este de așteptat ca molecula de 2-furil-metan-tiol să se deplaseze aproximativ 9 mm. Aceasta înseamnă că am putea aștepta ca molecula să parcurgă o distanță de trei metri într-o cameră în circa 6 ore, mult peste ceea ce constată experimental oricine prepară o cafea. Din acest calcul am tras concluzia că în pofida vitezei termice mari, nu difuziei i se datorează posibilitatea de a simți rapid mirosurile, ci convecției.

Acest exemplu a condus la formularea de către elevi a conceptului eronat privind rolul major al difuziei în răspândirea mirosului în aer. Doar aprofundarea înțelegerii fenomenului prin utilizarea distribuției gaussiene a vitezelor și al caracterului haotic al mișcării a permis depășirea acestui concept eronat.

Cel de-al doilea exemplu se referă la discuția despre natura laminară sau turbulentă a circulației sângelui. Plecând de la ideea că circulația sângelui în sistemul arterial are la bază pompa pulsatorie a acestuia de către inimă, majoritatea elevilor au înclinat spre ideea unei curgeri turbulente. Doar câțiva elevi au opinat că o astfel de curgere n-ar putea fi benefică pentru sistemul aortic.

Rezolvarea problemei în cadrul opționalului a avut la bază studiul capitolului de dinamică a fluidelor (scos din programa de fizică de trunchi comun). În cadrul temei elevii au obținut cunoștințe despre curgerea laminară și turbulentă și a trecerii de la un tip de curgere la altul – calculul numărului lui Reynolds.

În continuare, rezolvarea problemei s-a axat pe calculul aproximativ al vitezei maxime a sângelui în aortă. Pentru aceasta am aplicat legea conservării energiei. Energia furnizată de inimă (lucrul mecanic) în timpul contracției ventriculare, $L = \Delta pV$, nu este cheltuită în totalitate pentru circulația sângelui. O parte din aceasta constituie energia potențială a presiunii sângelui, altă parte apare sub formă de energie elastică a pereților aortei, iar a treia parte este disipată în sistem.

$$L = K + U_{\text{pres sânge}} + U_{\text{pereți}} + E_{\text{disipată}}$$

Prin K am notat energia cinetică a sângelui. În continuare am făcut câteva aproximări. Diferența de presiune Δp este diferența dintre presiunea maximă și cea reziduală ventriculară (datorită faptului că ventriculele nu se golesc complet); considerând o presiune maximă sistolică de 120 mmHg și o presiune reziduală de 9 mmHg, diferența de presiune în ventricul este de 111 mmHg.

Volumul (V) de sânge pompat în aortă în timpul contracției ventriculare este de circa 80 cm^3 . Aceasta înseamnă un lucru mecanic de circa 1,18J per contracție ventriculară. Dar numai aproximativ 70% din acest lucru mecanic este efectuat înainte ca viteza sângelui să-și atingă maximum. Astfel, energia disponibilă pentru a pune în mișcare sângele cu viteză maximă este de aproximativ 0,8 J.

Energia potențială a sângelui crește cu presiunea de la nivelul diastolic (80 mmHg) la cel sistolic (120 mmHg) cu o diferență de presiune de 40 mmHg. Folosind 70% din volum, înseamnă că 0,3 J de energie se regăsesc sub formă de energie potențială în presiunea crescută a sângelui.

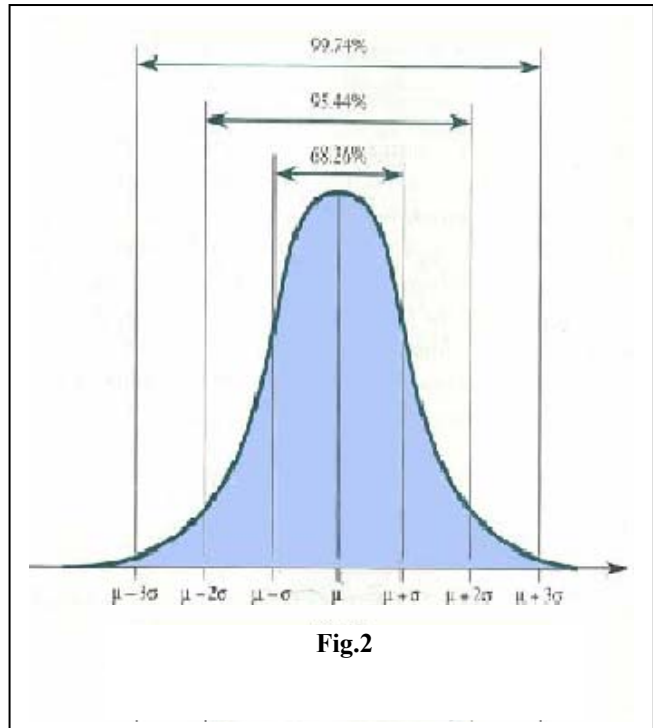


Fig.2

Întinderea pereților arteriali acumulează o energie potențială de 0,0025 J la o constantă elastică a pereților $k = 12500 \text{ N/m}$ și o variație a razei aortei de 0,2 cm. Această energie este eliberată de aortă în urma contracției care imprimă curgerea sângelui în restul sistemului. După cum rezultă din calcul, această energie este neglijabilă comparativ cu ceilalți termeni ai ecuației.

Pentru a calcula energia disipată, am utilizat ecuația Poiseuille privind calculul pierderii de presiune de-a lungul aortei, apoi am calculat energia disipată utilizând volumul disponibil. Debitul de sânge, presupunând 72 bătăi pe minut, este de $96 \text{ cm}^3/\text{s}$. Raza medie a aortei este de 1,25 cm, iar lungimea de aproximativ 30 cm. Din aceste presupuneri găsim o diferență de presiune pe aortă de 12 Pa. Aceasta înseamnă o disipare de aproximativ 10^{-3} J , valoare la care disiparea de energie în aortă poate fi ignorată.

Pentru calculul vitezei am aplicat relația conservării energiei ignorând termenii referitori la energia elastică și disiparea de energie: $K = L - U_{\text{pres.sânge}}$, unde: $K = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2} \rho \cdot (0,7V)v^2$. Termenul $(0,7V)$ este volumul de sânge disponibil în timpul unei singure bătăi. Din calcul am obținut: $v = 4,25 \text{ m/s}$ (valoarea este aproximativă – ea oferă informații asupra ordinului de mărime al vitezei maxime în aortă).

Viteza obținută este surprinzător de mare. Este ea însă suficientă pentru a determina curgerea turbulentă a sângelui? Pentru a răspunde la această întrebare, elevii au calculat numărul lui Reynolds pentru a observa dacă acesta atinge valoarea 2000, valoare aproximativă de la care începe trecerea de la curgerea laminară la cea turbulentă. Aplicând expresia de calcul a numărului lui Reynolds pentru viteza sângelui în aortă, rezultă:

$$R_e = \frac{\rho D v}{\eta} = 28000, \text{ unde } v \text{ este viteza, iar } D \text{ este diametrul aortei. Valoarea găsită indică prezența turbulențelor în aortă, dar nu este clar pentru cât timp } R_e \text{ rămâne la fel de mare. Dacă numărul lui Reynolds nu are o valoare mare un timp suficient de lung pentru a forma curenți macroscopici nu ne putem aștepta la detecția unor turbulențe. Timpul necesar formării turbulențelor poate fi exprimat: } t_a = \sqrt{\frac{\eta \Delta t V}{K}}, \text{ unde } \Delta t \text{ este timpul unei bătăi a inimii; } K \text{ este energia cinetică a sângelui, iar } V \text{ este volumul disponibil. Utilizând rezultatele calculului anterior am obținut: } t_a = 0,7 \text{ ms.}$$

Lungimea vârtejului care se poate forma în acest interval de timp este dată de relația: $l_a = \left(\frac{\eta^3 \Delta t V}{\rho^2 K} \right)^{1/4}$. Valoarea lungimii obținute, $l_a = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$, denotă formarea unor mici vârtejuri care se disipă în timp foarte scurt. Aceste calcule aproximative indică un curent aortic practic laminar, dar la limita micilor turbulențe.

Depășirea unor concepte eronate care pot apărea în timpul orelor de fizică, inclusiv a celor de opțional, nu este întotdeauna facilă, după cum se poate observa și din exemplele selectate. Pentru a face acest lucru, trebuie furnizat elevului cadrul de confruntare a conceptelor. Confruntarea poate fi declanșată odată cu identificarea conceptului eronat. Ea se poate efectua prin intermediul întrebărilor care să-i solicite elevului argumentarea propriilor afirmații. De multe ori, simpla confruntare nu este suficientă, ea trebuind dublată de informații suplimentare care să lărgească cadrul de operare al elevului cu conceptul dat.

Din practică a rezultat că nu orice tip de concept poate fi identificat și corectat. Dacă concepțiile factual incorecte și neînțelegerile conceptuale de limbaj sunt adesea corectate chiar de către elev, în cazul noțiunilor preconcepute sau a opiniilor neștiințifice corectarea este dificilă și ineficientă. Conceptele eronate formate în legătură cu diferite fenomene ale naturii pot fi corectate. Dar, înainte de a fi corectat, un concept eronat trebuie recunoscut. Există astăzi liste cu concepte eronate curențe la elevii de diferite vârste, care pot fi consultate de profesorul de fizică astfel, încât acesta să fie avertizat, înainte de începerea orei, de posibilitatea existenței sau apariției unui concept eronat legat de tematica dezbătută. Această cunoaștere prealabilă oferă profesorului posibilitatea de pretestare a conceptelor pe care elevul le are asupra problemei în discuție, putând planifica, acolo unde un concept eronat este identificat, modul de deconstructare și eludare a acestuia. În cazul conceptelor eronate care pot apărea la elevi, ca urmare a dezvoltării în școală a unui curs de tip opțional, ar trebui ca, în măsura în care aria de aplicare a acestora se lărgește, profesorii care le aplică să semnaleze, prin forumuri, schimburi de experiență sau prin oricare alte surse, exemplele de concepte eronate pe care le-au identificat și modalitățile prin care le-au soluționat. În acest fel, treptat, s-ar putea constitui un ghid de bună practică al aplicării opționalului de tip integrat și s-ar putea intensifica atenția celor interesați să-l dezvolte în mediile școlare.

Nu există rețete perfecte de identificare a unei anumite tipologii de concepte eronate, dar, în mod rațional, acestea pot fi observate pe parcursul procesului de predare-învățare prin întrebările pe care, un profesor antrenat să asculte ce spune elevul, le pune acestuia. Interviuul, chestionarul sau problematizarea sunt câteva dintre posibilitățile de acțiune în vederea identificării conceptului eronat. Metoda aplicată de profesor într-un anumit caz particular poate depinde de particularitățile de vârstă ale elevului, de backgroundul științific și experiența acestuia, dar și de experiența profesorului în aplicarea unuia sau altuia, sau chiar a mai multor instrumente de evaluare consecutive. Identificarea erorilor de tip științific cu care elevul se confruntă este doar primul pas. Ea semnaleză profesorului necesitatea abordării atente a subiectului și dezvoltarea lui în situații variate care să-i ofere puncte de ancorare în mentalul elevului. Aceste intrări pot să-i faciliteze proiectarea și aplicarea unor activități utile atât deconstruirii modelului mental afectat de un concept eronat, cât și eludarea acestuia în vederea construirii unui model mental corect al disciplinei.

Bibliografie:

1. Posner G.J., Strike A., Hewson P.W., Gertzog W.A. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change; *Sci. Educ.*, 66:2, 211-227, 1982.
2. Ausubel D.P., Novak J.D., Hanesian H. *Educational Psychology: A cognitive view*, a II a ediție. - New York: Holt, Reinhart & Winston, 1968, p.519-564.
3. Novak J. D. Concept learning in science. *Theory into Practice*. College of Education. Ohio State University, 1971, 10(2), p.129-133.
4. Novak J.D. The Theory Underlying Concept Maps and How To Construct Them. <http://cmap.coginst.uwf.edu/info>.
5. Redish E.F. The implications of cognitive studies for teaching physics // *Am. J. of Physics*. - 1994. - No62(6). - p.796-803.
6. Crocnan D.O. *Concepte eronate în fizică*. - București: Meteor Press, 2003.
7. Dewey J. *Democracy and education*. - N.Y.: Free Press, 1966.
8. Vygotsky Lev S. *Mind in society: the development of higher psychological processes*. - Cambridge: MA Harvard Univ. Press, 1978.
9. Piaget J. *The child's conception of the world*. - N.Y.: Harcourt, Brace Jovanovich, 1929.
10. Piaget J. *The science education and the psychology of the child*. N.Y.: Grossman, 1970.
11. Bruner J. *The process of education*. - Cambridge: MA Harvard Univ. Press, 1960.
12. Bruner J. *Toward a theory of instruction*. Cambridge: MA Harvard Univ. Press, 1966.
13. Redish E.F. The implications of cognitive studies for teaching physics // *Am. J. of Physics*. -1994. - No62(6). p.796-803, 1994.

Prezentat la 17.12.2009