

ÎNVĂȚAREA FIZICII PRIN ANALOGIE

Mihail POPA, dr., conf. univ., Facultatea de Științe Reale, Economice și ale Mediului,
Universitatea de Stat „Alecu Russo” din Bălți

Abstract: *The analogy is one of the scientific methods knowledge, which is used extensively in the study of physics. If using analogy reasoning the knowledge gained from discussing an object (model) transfer another object studied less (which is more hardly accessible research). In the respective work are described different analogies which can be applied successfully to the teaching and learning of physics.*

Keywords: *analogy, electric battery, capacitor, transistor, tabular analogies.*

În manualele și culegerile de probleme la Fizică se precaută detaliat analogia dintre oscilațiile mecanice și oscilațiile electromagnetice, analogia dintre mișcarea planetelor și mișcarea electronilor în atom, analogia dintre ochiul omenesc și o lentilă subțire etc. Pentru activizarea procesului de cu-noaștere pot fi utilizate cu succes și alte analogii, care sunt și subiectul acestui articol.

I. Analogia dintre Electricitate și Hidrodinamică

Asemenea curgerii apei prin spațiul liber al unei țevi, electronii liberi pot să se miște prin spațiul liber dintre atomii unui conductor, iar deplasarea ordonată a electronilor poartă denumirea de *current electric*. Deși în mod normal deplasarea electronilor

„liberi” dintr-un conductor este aleatoare, fără vreo direcție predominantă sau viteză particulară, electronii pot fi influențați să se deplaseze într-un mod ordonat printr-un material conductor. O analogie aproximativă este cea a unui tub umplut dintr-un capăt în celălalt cu mărgelile (Fig. 1). Tubul

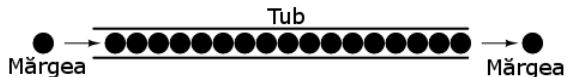


Fig. 1. *Mișcarea mărgelilor analoagă cu mișcarea electronilor*

este plin de mărgele, precum un conductor este plin de electroni liberi, pregătiți să fie puși în mișcare de o influență externă. Dacă o singură mărgea este introdusă brusc în acest tub plin prin partea stângă, o alta va ieși instant pe partea cealaltă, iar dacă mișcarea mărgelilor prin tub este continuă și uniformă, ea este analogă mișcării electronilor. Această analogie se poate folosi cu succes atât la nivelul preuniversitar, cât și la cel universitar (Каменский 1982: 52).

Analizăm o altă analogie. Sarcina electrică formată prin frecarea a două materiale reprezintă stocarea unei anumite cantități de energie. Această energie este asemănătoare energiei înmagazinate într-un rezervor de apă aflat la înălțime, umplut cu ajutorul unei pompe dintr-un bazin aflat la un nivel mai scăzut (Fig. 2).

Influența gravitației asupra apei din rezervor dă naștere unei forțe ce tinde să deplaseze apa spre nivelul inferior. Dacă construim o țevă de la rezervor spre bazin, apa va curge sub influența gravitației înapoi în bazin. Adică este nevoie de o anumită energie pentru pomparea apei de la un nivel inferior (bazin) la unul superior (rezervor), iar curgerea apei prin țevă înapoi la nivelul inițial constituie eliberarea energiei înmagazinate prin pomparea precedentă (Старченко 1981: 25).

Pentru pomparea apei la un nivel și mai ridicat va fi necesară o energie și mai mare pentru realizarea acestui lucru. În acest caz va fi înmagazinată o energie și mai mare și, de asemenea, va fi eliberată o energie mai mare decât în cazul precedent.

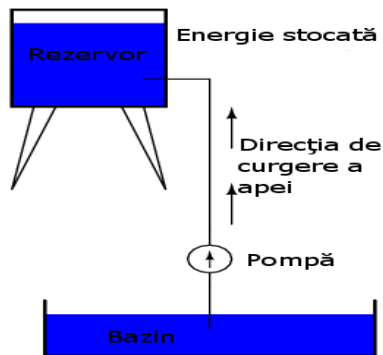


Fig. 2. Energie stocată la înălțime

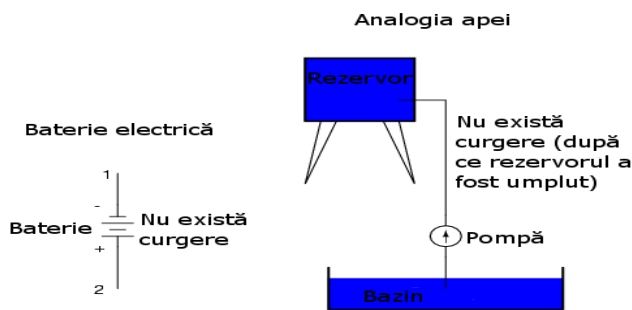


Fig. 3. Analogia dintre o pompă de apă și o baterie electrică

Atunci când electronii se află într-o poziție statică (prin analogie cu apa dintr-un rezervor), energia înmagazinată în acest caz poartă numele de *energie potențială*, pentru că există posibilitatea (potențialul) eliberării acestei energii în viitor. Această energie potențială, înmagazinată sub forma unui dezechilibru de sarcină electrică capabilă să provoace deplasarea electronilor printr-un conductor, poate fi exprimată printr-un termen denumit *tensiune electrică*, ceea ce tehnic se traduce prin energie potențială pe unitate de sarcină electrică sau ceva ce un fizician ar denumi energie potențială specifică. Definită în contextul electrostaticii, *tensiunea electrică* este măsura lucrului mecanic necesar deplasării unei sarcini unitare dintr-un loc în altul acționând împotriva forței ce tinde să mențină sarcinile electrice în echilibru. Din alt punct de vedere, tensiunea este cantitatea de energie potențială disponibilă pe unitate de sarcină, pentru deplasarea electronilor printr-un conductor. Altfel spus, tensiunea electrică caracterizează posibilitatea sau potențialul de eliberare a energiei atunci când electronii se deplasează de pe un „nivel” pe altul (Старченко 1981: 28).

Atunci când capetele „+” și „-” ale bateriei (Fig. 3) sunt conectate la un circuit, va exista o tensiune electrică între aceste două puncte, dar nu va exista o deplasare a electronilor prin baterie, pentru că nu există un drum continuu prin care electronii să se poată deplasa. Același principiu se aplică și în cazul rezervorului de apă (Fig. 3): fără un drum (țevă) înapoi spre bazin, energia înma-

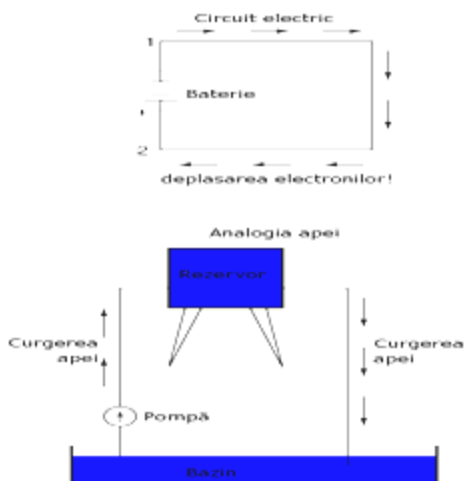


Fig. 4. Analogia unui circuit electric și circuitul apei

II. Analogii la formarea noțiunii de capacitate electrică

Putem aplica cu același succes analogia la învățarea capacității electrice. Noțiunea de capacitate electrică ($C=q/U$) se introduce în baza experimentului demonstrativ și se pare că este accesibilă pentru elevi. Însă apar întrebări care necesită explicații suplimentare. În primul rând, termenul de „capacitate” elevii îl asociază cu „volumul” unui vas. Trebuie de remarcat însă o diferență, și anume, explicând elevilor că prin capacitatea electrică se înțelege cantitatea de sarcină electrică acumulată pe suprafața a două plăci paralele separate.

Este plauzibilă folosirea analogiei dintre capacitatea electrică și capacitatea unui balon de gaz. Se știe că o anumită cantitate de gaz introdusă în balon nu poate modifica volumul acestuia. Dacă în balon vom introduce o cantitate de gaz m , presiunea va fi P (la $T=const$), dacă vom introduce o cantitate de gaz $2m$, atunci presiunea va fi $2P$, dacă $3m$, atunci presiunea va fi $3P$ etc. Astfel, capacitatea balonului se caracterizează nu prin m , ci prin raportul $m/P = const$. Analogic putem spune că dacă un corp va primi o cantitate de sarcină q , atunci el va avea potențialul φ , dacă corpul primește o cantitate de sarcină $2q$, potențialul va crește până la 2φ , dacă corpul primește $3q$, atunci va avea un potențial de 3φ etc. Astfel, capacitatea electrică corpului se caracterizează nu prin q , ci prin raportul $q/U = const$ (Воробьев 1981: 42).

Se poate de explicat de ce pentru determinarea capacității nu se iau dimensiunile corpului. De exemplu, dacă interiorul balonului nu poate fi văzut, atunci volumul lui nu poate fi determinat neapărat cu ajutorul măsurării directe, ci poate fi calculat analitic ca raportul dintre masa gazului și densitatea lui. Analogic se poate calcula și capacitatea electrică ca raportul dintre q/φ . Întrebările care vizează lămurirea dependenței dintre capacitatea și suprafața corpului, prezența corpurilor vecine, mediu etc., nu necesită analogii, ba din contra ele complică procesul de învățare.

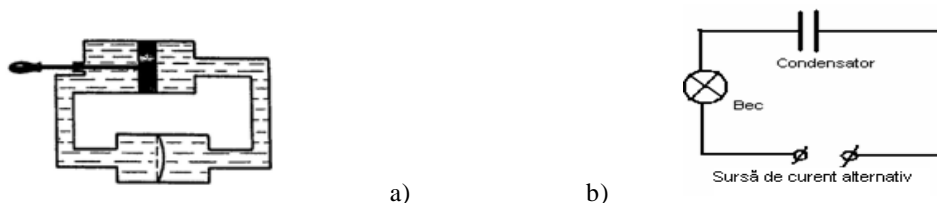


Fig. 5. Analogia dintre un circuit hidrodinamic și un circuit de curent alternativ

Cu același succes se poate utiliza analogia în studiul circuitului de curent alternativ cu condensator electric. În electrostatică s-a studiat construcția condensatorului și proprietățile lui de bază. S-a menționat că curentul continuu nu trece prin condensator, pentru că mediul dielectric dintre plăcile condensatorului întrerupe circuitul. Altfel se petrec lucrurile în circuitul de curent alternativ. Pentru

gazinată în rezervor nu poate fi eliberată prin curgerea apei. Odată ce rezervorul este umplut complet, nu mai are loc nici o curgere, oricât de multă presiune ar genera pompa.

Pentru ca apa să curgă continuu dinspre bazin spre rezervor și înapoi în bazin trebuie să existe un drum continuu, adică un circuit închis. Putem asigura un astfel de drum prin umplerea rezervorului cu bazinul printr-o conductă, iar pentru baterie prin conectarea unui fir din material conductor dintr-un capăt al bateriei spre celălalt. Astfel, vom iniția circuitul apei, și analog, o deplasare continuă și uniformă a electronilor în direcția acelor de ceasornic, care poartă numele de *curent electric* (Fig. 4). Sursa electrică va „împinge” electronii în aceeași direcție, atât timp cât circuitul va fi închis, tot așa cum pompa de apă va împinge apa în circuitul închis.

a demonstra acest fapt se va compune un circuit electric ce conține o baterie de condensatoare și un bec unit în serie (Fig. 5.b). Dacă becul luminează, atunci în circuit există curent. La schimbarea capacității bateriei de condensatoare se schimbă intensitatea becului. Acest lucru ne vorbește despre faptul că acest circuit electric are o rezistență anumită, care depinde, într-un anumit fel, de capacitatea electrică (Краповцев 1983: 80).

Pentru lămurirea acestui fapt este utilă analogia cu un circuit hidrodinamic (Fig. 5.a). În acest model se precaută mișcarea rectilinie alternativă a pistonului într-un sens și în altul în interiorul unui cilindru, la care membrana se deformează în sensurile respective. Are loc deplasarea apei până se întinde la limită membrana într-un sens, apoi în alt sens, dar lichidul nu trece prin membrană. La fel și sarcinile electrice nu trec prin mediul dielectric al condensatorului din circuit.

III. Analogia la studierea tranzistorului

La momentul de azi tranzistorul în calitate de dispozitiv semiconductor are multiple aplicații în toate sferile vieții cotidiene. Popularitatea dispozitivului este determinată de creșterea interesului elevilor/studentilor pentru studiul principiului de funcționare a tranzistorului și aplicațiile tehnice ale acestuia.

Modelul propus al tranzistorului, ca și alte analogii, reprezintă un model aproximativ și are limitele sale de aplicare. De exemplu, cu ajutorul lui nu este posibil de reprezentat conductivitatea intrinsecă și cea extrinsecă, deplasarea electronilor și golurilor etc. Însă, în mare parte, originalul și modelul sunt foarte mult asemănătoare între ele în ceea ce privește funcționarea schemelor acestora și analogia de lucru a principalelor părți componente.

După studierea de către elevi/studenti a elementelor principale a tranzistorului de tip *n-p-n* (emiter, bază și colector) și ale principiilor de funcționare a joncțiunilor *p-n* din stânga și din dreapta, elevilor li se propune de analizat procesele care au loc într-o instalație experimentală reprezentată în

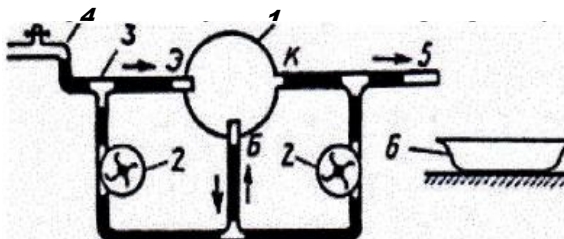


Fig. 6. Modelul tranzistorului

apei reprezintă mărimea analogă tensiunii electrice din circuitul electric al tranzistorului, pompele 2 îndeplinesc funcția de surse de curent, conductele de apă au rolul de conductoare de legătură, iar conducta din sticlă 5 – de rezistor cu rezistență electrică R (Найдин 1984: 73).

Inițial se explică rolul curenților în joncțiunile *p-n* din stânga și din dreapta și influența acestora asupra lucrului tranzistorului. Pentru aceasta se deschide robinetul 4 și se creează o presiune constantă a apei în sistemul „emiter-bază”. Lichidul prin „intrarea de la emiter” \mathcal{E} nimereste în analogul tranzistorului I și curge prin canalul bazei B . Sursa de curent continuu din circuitul din stânga (pompa 2) se conectează în așa o direcție, astfel încât fluxul de apă prin canalul bazei să se aspire în „circuitul emiterului” și să creeze un curent continuu care depinde doar de sursa de curent. Se demonstrează practic această operație la instalația experimentală din Fig. 6. Modificând presiunea apei din sistem cu ajutorul robinetului și pompei analog modificăm numărul de rotații al motorului. În acest proces o parte din apă nimereste în „colector”, ceea ce se asociază cu difuzia golurilor nerecombinate din bază în colector.

Apoi se demonstrează importanța bazei în tranzistor. Se conectează pompele din stânga și din dreapta, astfel încât fluxurile de lichid din ele să circule după acele de ceasornic. Atunci prin „bază” vor circula două fluxuri contrare de lichid. În limba analogiei aceasta înseamnă că curenții din circuitele bazei I_B , circuitul emiterului I_E și cea a colectorului I_C sunt legați prin relația:

$$I_B = I_E - I_C. \quad (1)$$

Despre corelațiile dintre intensitățile curentului electric în tranzistor elevii vor judeca după observarea indicațiilor debitmetrelor de apă conectate în „circuitul emiterului” și „circuitul colectorului”. Un debitmetru reprezintă dispozitivul pentru măsurarea vitezei de curgere a apei și este analog ampermetrului. Deoarece viteza de curgere a lichidului în „emiter” este aproximativ egală cu viteza de curgere a lichidului în „colector”, se poate trage concluzia despre lipsa curentului electric în bază, adică $I_B = 0$. Într-adevăr, deoarece concentrația golurilor injectate din emiter este mai mare decât concentrația acestora la granița cu baza (lățimea bazei este de obicei mică), atunci golurile difuzează intens în colector. În același timp curentul invers din circuitul colectorului este mult mai mic decât circuitul creat de golurile emiterului. De aceea intensitatea curentului din circuitul colectorului poate fi egal cu intensitatea curentului în circuitul emiterului $I_C \approx I_E$. Această egalitate stă la baza acțiunii de amplificare a tranzistorului.

De asemenea, se precaută utilizarea tranzistorului în calitate de amplificator de putere. Pentru aceasta se analizează funcționarea tranzistorului în circuitul cu bază comună și în circuitul cu emiter comun. Schema cu colector comun nu se precaută, deoarece ea foarte puțin se deosebește de schema cu emiter comun. Se explică distribuția curentului dintre emitor, bază și colector. Amplificarea puterii se poate realiza prin două metode diferite:

- la tensiune constantă se mărește intensitatea curentului electric;
- la curent constant se mărește tensiunea electrică.

IV. Analogii tabelare

Una din cele mai des utilizate analogii în cursul de fizică este analogia dintre câmpurile electrostatic, magnetic și gravitațional. Examinând aceste câmpuri, observăm ca între ele există o serie de asemănări (similitudini). Vom studia criteriile pe baza cărora se stabilește analogia dintre aceste câmpuri (Tabelul 1). Este evident faptul că pentru fiecare câmp luat în parte trebuie să analizăm care este cauza apariției, adică care este sursa câmpului. Pentru câmpul electrostatic sursa câmpului este sarcina electrică, sursa câmpului magnetic este sarcina electrică în mișcare, iar pentru câmpul gravitațional sursa este masa corpului. Cunoscând sursa câmpurilor trebuie să stabilim asupra cui acționează aceste câmpuri. În caz particular, câmpul electric acționează asupra sarcinilor electrice, câmpul magnetic acționează asupra acelor magnetice și conductoarelor parcurse de curent electric, iar câmpul gravitațional acționează asupra corpurilor de masă dată. Diferite sunt expresiile forțelor create de aceste câmpuri. Pentru câmpul electric liniile de câmp sunt radiale și pornesc de la sarcina pozitivă spre cea negativă, la câmpul magnetic liniile sunt închise, iar un astfel de câmp se numește turbionar. În cazul câmpului gravitațional liniile de forță sunt radiale și orientate spre corp. Mărimile fizice caracteristice pentru fiecare câmp au formule de calcul analogice etc.

Analogiile pot fi utilizate la stabilirea legăturilor dintre diferite compartimente ale fizicii. În Tabelul 2 am prezentat analogia dintre mărimile fizice din *Mecanică* și *Electrodinamică*. Pot fi utilizate cu succes analogii chiar în cadrul unui singur compartiment ca, de exemplu, în *Mecanică* (Tabelul 3).

Tabelul 1. Analogia câmp gravitațional-câmp electrostatic-câmp magnetic
(Дайментов 1982: 62)

Criterii pe baza cărora se stabilește analogia	Câmp gravitațional	Câmp electrostatic	Câmp magnetic
<i>Sursa câmpului</i>	Masa-m	Sarcina electrică în echilibru-q	Sarcina electrică în mișcare
<i>Asupra cui acționează</i>	Corpurilor de masă dată	Sarcinilor electrice	Acelor magnetice și conductoarelor parcurse de curent
<i>Forța prin care se evidențiază existența câmpului</i>	Gravitațională $F=K \frac{m_1 m_2}{r^2}$ Forță conservativă	electrică $F_e=k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ Forță conservativă	Magnetică $F=I(1 \times B)$ $F = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2\pi r}$ Forță neconservativă
<i>Configurația liniilor de câmp</i>	Radiale orientate spre corp	Radiale – pornesc de la sarcina pozitivă spre cea negativă	Închise

<i>Mărimea fizică caracteristică</i>	Intensitatea $\Gamma = F/m$ (N/kg)	Intensitatea $E = F/q$ (V/m)	Inducția magnetică $B = F/Il$ (T)
<i>Orientarea mărimii caracteristice la linia de câmp</i>	Tangentă și în același sens	Tangentă și în același sens	Tangentă și în același sens
<i>Modelul câmpului uniform</i>	Pe porțiuni mici, la suprafața Pământului	Între armăturile condensatorului	În interiorul solenoidului
<i>Caracterizarea substanței în câmp</i>	-	ϵ	μ_r
<i>Lucrul mecanic efectuat de forțele câmpului</i>	Nu depinde de drum $L = mgh$	Nu depinde de drum $L = kq_1q_2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$	Depinde de drum
<i>Poziția forței față de intensitate</i>	Aceeași direcție și sens	Aceeași direcție Același sens ($q > 0$) Sens opus ($q < 0$)	Perpendiculare între ele și pe direcția conductorului (regula mâinii stângi)
<i>Mărimi fizice scalare</i>	Potențial gravitațional	Potențialul electric $V = L/q$ (V)	Fluxul magnetic $\Phi = BS$ (Wb)
<i>Traectoria sarcinii (corpului) în câmp</i>	Dreaptă $v \parallel \Gamma$ Parabolă $v \perp \Gamma$	Dreaptă $v \parallel E$ Parabolă $v \perp E$	Dreaptă $v \parallel B$ Cerc $v \perp B$ Elicoidă $\alpha = \sphericalangle (v, B)$

Tabelul 2. Analogia dintre mărimile fizice și legile fizice din Mecanică și Electrodinamică
(Овчинников 1998: 30)

Denumirea mărimii sau a legii și formula			
Mecanica		Electrodinamica	
Coordonata	x	Sarcina electrică	q
Viteza	$v = dx / dt$	Intensitatea curentului	$I = \frac{dq}{dt}$
Accelerație	$a = \frac{dv}{dt}$	Viteza de schimbare a intensității curentului	$\frac{dI}{dt}$
Forța elastică	$F = -kx$	Tensiunea la plăcile condensatorului	$U = \frac{q}{C}$
Coeficientul de elasticitate	k	Mărimea inversă a capacității electrice	$\frac{1}{C}$
Forța de rezistență	$F = -kv$	Tensiunea pe o porțiune de circuit	$U = RI$
Coeficientul de rezistență la mișcare	$\alpha = \frac{E}{V}$	Rezistență electrică	$R = \frac{U}{I}$
Legea a doua lui Newton	$F = ma$	Legea lui Faraday pentru inducția electromagnetică	$E = -L \frac{d\phi}{dt}$
Masa	m	Inductanța	L
Lucrul	$A = Fx$	Lucru	$A = Uq$
Puterea	$P = Fv$	Puterea	$P = UI$
Lucrul forței de rezistență la mișcarea uniformă	$A = \alpha vx$	Legea lui Joule-Lentz pentru curentul continuu	$Q = I^2 Rt$
Energia potențială a corpului deformat elastic	$E_p = \frac{kx^2}{2}$	Energia condensatorului plan	$E_c = \frac{1}{C} \frac{q^2}{2}$
Energia cinetică	$E_c = \frac{mv^2}{2}$	Energia bobinei de inducție	$E_m = \frac{LI^2}{2}$

Tabel 3. Analogia dintre mișcarea de translație și mișcarea de rotație
(Popa 2009: 104)

<i>Mișcarea de translație</i>		<i>Mișcarea de rotație</i>	
Mărime fizică, lege fizică	Simbol, formulă	Mărime fizică, lege fizică	Simbol, formulă
Deplasarea	s	Deplasarea unghiulară	φ
Viteza	$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt}$	Viteza unghiulară	$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$
Accelerația	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$	Accelerația unghiulară	$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$
Legile mișcării rectilinii uniform variate	$\left\{ \begin{array}{l} S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \\ v = v_0 + at \\ v^2 = v_0^2 + 2aS \end{array} \right.$	Legile mișcării curbilini uniform variate	$\left\{ \begin{array}{l} \theta = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} \\ \omega = \omega_0 + \varepsilon t \\ \omega^2 = \omega_0^2 + 2\varepsilon\theta \end{array} \right.$
Masa	m	Momentul de inerție	$I = mr^2$
Forța	\vec{F}	Momentul forței	$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$
Impulsul	\vec{p}	Momentul cinetic	$\vec{K} = \vec{r} \times \vec{p}$
Legea fundamentală a mișcării de translație	$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} \text{ sau } \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$	Legea fundamentală a mișcării de rotație	$I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{M} \text{ sau } \frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{M}$
Lucrul mecanic	$L = \vec{F} \cdot \vec{s}$	Lucrul mecanic	$L = \vec{M} \cdot \vec{\varphi}$
Puterea mecanică	$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$	Puterea mecanică	$P = \vec{M} \cdot \vec{\omega}$
Energia cinetică	$W_c = \frac{mv^2}{2}$	Energia cinetică	$W_c = \frac{I\omega^2}{2}$

Concluzii

Studierea prin analogie a fenomenelor fizicii, a legilor fizice constituie imperativul învățămîntului actual, ce are caracter preponderent formativ. Urmărind curriculum-urile și manualele de fizică, se remarcă peste tot amprenta caracterului analogic ce se atribuie acestei materii școlare. Dintr-o asemenea perspectivă, rezultă că utilizarea metodelor didactice la predarea și însușirea fizicii este de importanță decisivă, fiind condiția fundamentală a învățării acestei discipline, ce are ca obiect de studiu natura cu manifestările sale fizice.

Subiectul nici pe de parte nu este epuizat, iar materialul rămas poate fi obiectul unui alt articol. Materialul prezentat poate fi de real folos elevilor, studenților, cadrelor didactice, precum și tuturor celor care doresc să-și aprofundeze cunoștințele din domeniu.

Bibliografie:

1. Каменский, С., *Модели и аналогии в курсе физике*, Москва, Просвещение, 1982.
2. Старченко, А., *Роль аналогии в познании*, Москва, Высшая Школа. 1981.
3. Воробьев, В., *Ознакомление учащихся с методом аналогии* // Физика в школе, 1981, № 3, с. 40-45.
4. Дайментов, И., *Сравнения явлений электростатическом и в гравитационном полях* // Физика в школе. 1982, № 2, с. 56-62.
5. Краповцев В., *Решение изобразительных задач методом аналогии.* // Физика в школе. 1983, №5, с. 78-85.
6. Найдин, А., *Механическая аналогия замкнутой цепи* // Физика в школе, 1984, №6, с. 71-75.
7. Овчинников, А., Плис, В. *Аналогии в задачах по физике*, Москва, Квант, 1998, №6. с. 28-34.
8. Popa, M., *Mecanica – curs universitar*, Chișinău, Editura Tehnico-Info, 2009.