

**REGULARIZAREA EXPERIMENTULUI DEMONSTRATIV LA TEMA
„FORȚA DE FRECARE. MIȘCAREA ÎN PREZENȚA FORȚEI DE
FRECARĂ”**

Mihail POPA, *conf. univ. dr.*,
Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, R. Moldova

Abstract: *The article presents the classical and alternative demonstration experiment to be used of teachers in teaching of theme „Friction force. Movement in the presence of friction”.*

Termeni-cheie: *dinamometru, corp paralelipipedic, tribometru, coeficient de frecare, unghi de frecare, forță aerodinamică.*

1.Introducere

A învăța înseamnă să cunoști de la o zi la alta cât mai mult despre lucrurile, ființele și fenomenele lumii ce ne înconjoară. Fiecare din noi a început să învețe de când s-a născut. Dorința de a cunoaște, de a ști, de a învăța, am simțit-o din prima zi de școală. Am învățat să pătrundem în lumea poveștilor, să ne exprimăm gândurile vorbind și scriind, am făcut observații asupra naturii și am început să-i cunoaștem misterele ei.

Există diferite căi și procedee de activizare a procesului de cunoaștere a studenților/elevilor – experimentul demonstrativ și lucrările de laborator, rezolvarea problemelor, utilizarea materialelor ilustrative în predare, deduceri simplificate ale legilor fizicii, crearea de situații de problemă etc. Acestea reprezintă o problemă centrală în procesul studierii fizicii, deoarece este vorba de crearea unui sistem prin intermediul căruia profesorul stimulează activitatea de învățare a elevilor. De regulă, aceste metode nu se aplică izolat una de alta, ci în ansamblul lor, ele fiind întotdeauna însoțite de explicarea și interpretarea experimentelor, a problemelor propuse, a lucrărilor de laborator etc.

Experimentul demonstrativ constă în ilustrarea unui fenomen, proces sau eveniment greu accesibil observației directe, în scopul înțelegerii noilor cunoștințe, al formării unor convingeri științifice etc. Experimentul demonstrativ se execută în fața clasei de către profesor sau elev; elevii din clasă observă acțiunile pe care le implică realizarea experimentului demonstrativ, emit ipoteze în legătură fenomenul / procesul / evenimentul provocat și explică esența acestuia.

De obicei, experimentele demonstrative sunt necesare în următoarele situații:

a) când este necesar de a familiariza elevii, studenții, cu fenomenele fizice și circumstanțele care servesc ca punct de plecare pentru formularea legilor de bază ale fizicii și cunoașterea descoperitorilor acestora. După cum se știe, legile, descoperite ca rezultat al observațiilor, se generalizează și se formulează sub formă de legi ale naturii. Uneori, aceste legi poartă numele descoperitorilor lor, ca de exemplu, legea lui Arhimede, legea lui Ampere sau legea lui Coulomb. Toate legile fizicii au o bază practică - acestea sunt generalizări ale experiențelor.

b) atunci când se studiază construcția și principiul de lucru ale aparatelor de măsură, ce funcționează pe baza diferitor fenomene fizice. Instrumentele care măsoară diferite mărimi fizice sunt mult mai multe decât legile fizicii. Și cu toate că fiecare aparat de măsură are propriul autor, adică persoană care a propus, a proiectat și a realizat pentru prima dată aparatul respectiv, de obicei, numele autorilor-inventatori nu apar (sau apar mai rar) în cărțile de fizică. Această informație face obiectul istoriei fizicii.

c) atunci când se studiază dispozitive tehnice sau procesele complexe, în care se studiază fenomenele fizice din diferite domenii [1].

Obiectivul principal al acestei lucrări, care a fost formulat după studierea literaturii de specialitate, a fost studiul experimentelor demonstrative clasice și de alternativă la tema *Forța de frecare. Mișcarea în prezența forței de frecare*. Vom prezenta mai jos experimentele respective.

2. Variante diferite ale experimentului demonstrativ

Forța de frecare este cea de-a treia forță mecanică care se studiază în capitolul *Principiile dinamicii. Forțele în natură* [4]. În condițiile terestre orice mișcare a corpurilor este însoțită de frecare și se produce în prezența forței de frecare, de aceea studierea acestei teme este foarte importantă. Reamintim că forța de frecare apare atunci când corpurile se află în contact direct și este orientată totdeauna de-a lungul suprafeței de contact. Prin aceasta ea se deosebește de forța elastică, care este orientată perpendicular pe suprafața de contact [2, 3, 5, 6].

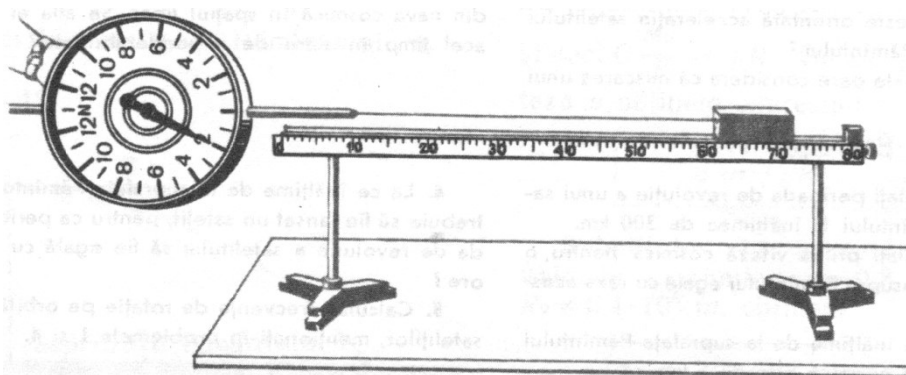


Fig. 1. Instalație pentru demonstrarea forței de frecare [3]

Să vedem cum apare forța de frecare, efectuând un experiment. În Figura 1 este reprezentată instalația pentru acest experiment. Un corp paralelipipedic din lemn așezat pe o scândură orizontală este legat cu o sfoară de un dinamometru, a cărui resort poate fi deformat cu mâna. În Figura 2 sunt indicate schematic forțele ce acționează asupra corpului și anume forța \vec{F} paralelă cu suprafața de contact dintre corp și scândură (indicată de dinamometru), forța de greutate \vec{G} și forța de reacțiune a reazemului (forța elastică a scândurii deformate) \vec{N} , care o echilibrează pe \vec{G} . Forța \vec{N} este orientată perpendicular pe suprafața de contact dintre corp și scândură.

Dacă forța \vec{F} nu este suficient de mare, corpul rămâne în repaus. Dat fiind faptul că forțele \vec{G} și \vec{N} se compensează între ele, rezultă că asupra corpului acționează încă o forță egală în modul cu \vec{F} , dar orientată în sens opus numită **forța de frecare de repaus (statică)**.

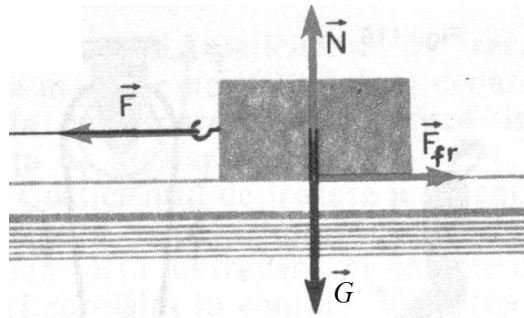


Fig. 2. Reprezentarea schematică a forțelor [3]

Dacă întindem mai mult firul legat de corp, dinamometrul ne va indica acum că forța \vec{F} s-a mărit, dar corpul continuă să se afle în repaus. Prin urmare, odată cu \vec{F} s-a mărit și forța de frecare de repaus, astfel încât ele iarăși sunt egale ca modul și orientate în sens opus. Anume aceasta este particularitatea principală a acestei forțe: *forța de frecare de repaus este egală în modul și orientată în sens opus forței, aplicate unui corp în repaus paralel cu suprafața de contact dintre acel corp și un alt corp.*

Dacă mărim și mai mult forța \vec{F} , la o anumită valoare corpul se va mișca din loc și va începe să alunece. Deci, există o anumită forță de frecare de repaus maximă $(\vec{F}_f)_{max}$. Corpul va obține accelerația abia atunci, când forța \vec{F} va deveni ceva mai mare decât $(\vec{F}_f)_{max}$. Forța de frecare de repaus este forța, care ne împiedică să urnim din loc un obiect greu: un dulap, o masă, o ladă etc.

De ce are importanță atât de mare greutatea corpului, doar nu mișcăm obiectul în sus, nu-l deplasăm în sens opus forței de greutate? Experiența ne dă răspuns și la această întrebare.

Vom pune ce corpul din Fig. 2 o greutate suplimentară pentru al apăsa mai puternic pe suport (Fig. 3). În acest mod noi mărim forța perpendiculară pe

suprafața de contact dintre corp și suport. Dacă vom măsura acum forța de frecare de repaus maximă $(\vec{F}_f)_{max}$, vom constata că ea a crescut de atâtea ori, de câte ori s-a mărit forța perpendiculară pe suprafața de contact. Această forță este numită uneori forță de apăsare normală și este egală în modul cu forța de reacțiunea a reazemului \vec{N} . Deci, pentru forța de frecare de repaus maximă se poate scrie:

$$(F_f)_{max} = \mu N, \tag{1}$$

unde μ este un factor de proporționalitate numit **coeficient de frecare**.

Forța de frecare de repaus maximă este proporțională cu forța de apăsare

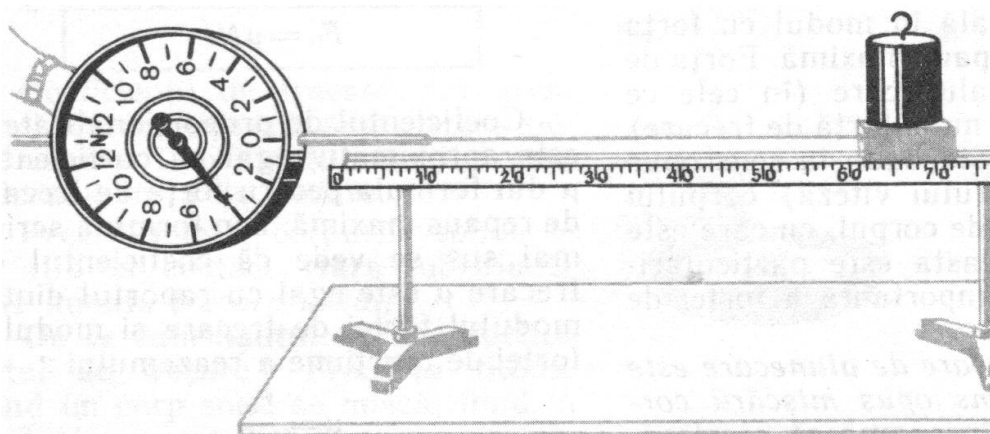
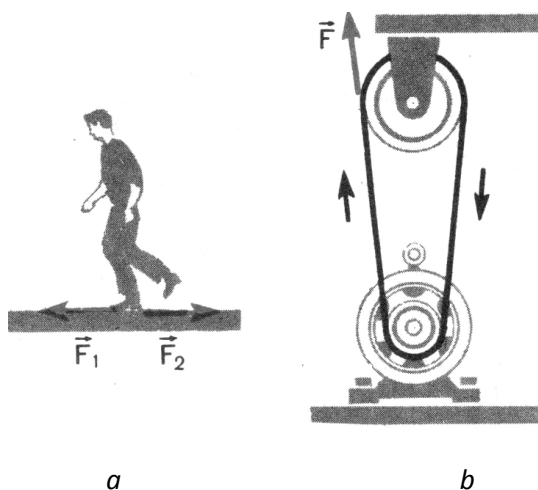


Fig. 3. *Demonstrarea forței de frecare maximă* [2, 3]

normală.

Forța de frecare de repaus este o forță care parcă ar împiedica corpul să înceapă mișcarea. Dar în unele cazuri anume datorită forței de frecare de repaus



este posibilă mișcare, adică ea este și o forță motoare. Astfel, în timpul mersului forța de frecare de repaus \vec{F}_1 care acționează asupra tălpii, ne imprimă accelerație (Fig. 4. a). Forța F_2 orientată în sens opus (conform legii a III-a a lui Newton) imprimă accelerație Pământului. Roțile unui automobil sunt parcă împinse de Pământ și această forță care le „împinge” este forța de frecare de repaus. Forța care imprimă accelerație obezii roții de curea în cazul transmisiei prin curea este tot o forță de frecare de repaus (Fig. 4. b).

Dacă forța aplicată unui corp *paralel* cu suprafața de contact dintre acest corp și un alt corp depășește câtuși de puțin forța de frecare maximă, corpul obține o accelerație și începe să lunece pe suprafața celuilalt corp. Dar și în acest caz asupra corpului în mișcare acționează o forță de frecare, numită **forță de frecare de alunecare (cinetică)**. Măsurările arată că ea este aproximativ egală în modul cu forța de frecare de repaus maximă. Forța de frecare de alunecare (în cele din urmă o vom numi forță de frecare) este orientată totdeauna în sens opus mișcării (vectorului viteză) corpului considerat față de corpul, cu care este în contact. Aceasta este particularitatea cea mai importantă a forței de frecare.

Forța de frecare de alunecare este orientată în sens opus mișcării corpului. Aceasta înseamnă că și accelerația imprimată corpului de către forța de frecare este orientată în sens opus mișcării corpului. Din această cauză forța de frecare are ca efect reducerea vitezei corpului.

La fel ca și forța de frecare de repaus maximă, forța de frecare de alunecare este proporțională cu forța de reacțiune a reazemului

$$F_f = \mu N, \quad (2)$$

Coeficient de frecare μ este un coeficient subunitar ($0 < \mu < 1$), același atât pentru frecarea de repaus, cât și pentru frecarea de alunecare.

În tabelul de mai jos sunt prezentate valorile coeficientului de frecare pentru diferite perechi de materiale. De exemplu, coeficientul de frecare dintre două

suprafețe de oțel este 0,2, iar dintre oțel și gheață de 0,02 etc. Dacă între două suprafețe de oțel se folosește un lubrifiant, coeficientul de frecare scade și mai mult.

Tabelul 2. Coeficientul de frecare pentru diferite perechi de materiale

Material pe material	Coeficientul de frecare
Lemn pe lemn	0,25
Cauciuc pe beton	0,75
Piele pe fontă	0,56
Oțel pe oțel	0,20
Oțel pe gheață	0,02

Pentru determinarea experimentală a coeficientului de frecare ce caracterizează diferite materiale, în condiții de laborator este folosit un dispozitiv special numit **tribometru** (Fig. 5) [2, 4]. El este format dintr-o scândură

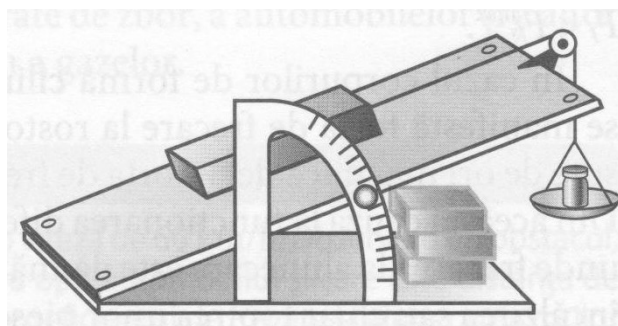


Fig. 5. Tribometrul [4]

prevăzută la un capăt cu un scripete ușor, în care frecarea este neglijabilă. Poziția scândurii se poate fixa atât orizontal, cât și sub un unghi față de orizont, astfel având posibilitatea de a studia frecarea și pe un plan înclinat. Dispozitivul mai are câteva corpuri paralelipipedice identice, pe fețele laterale ale cărora se pot fixa plăci confecționate din materiale diferite. Un paralelipiped, având fixate plăci din materialul studiat, se așează pe scândura orizontală a tribometrului și prin intermediul unui fir trecut peste un scripete se leagă cu un platan, pe care se adaugă treptat etaloane de masă, până la momentul când începe alunecarea.

Valoarea forței de greutate pentru care se realizează alunecarea uniformă a paralelipedului este egală cu forța de frecare la alunecare.

Unghiul de înclinare al planului pe care un corp alunecă fără accelerație se numește **unghi de frecare** φ_f .

Coefficientul de frecare se exprimă prin tangenta unghiului de frecare:

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi_f. \quad (3)$$

Dacă unghiul planului înclinat este mai mare decât unghi de frecare $\varphi > \varphi_f$, atunci corpul alunecă cu accelerație, iar dacă $\varphi < \varphi_f$, atunci corpul se află în repaus pe planul înclinat, deoarece $F_f < (F_f)_{max}$.

În cazul corpurilor de formă cilindrică sau sferică se manifestă **forța de frecare de rostogolire**. Ea este de sute de ori mai mică decât forța de frecare la alunecare. Din această cauză la funcționarea diferitor mecanisme, unde frecarea la alunecare este dăunătoare prin uzarea, încălzirea și chiar topirea unor piese în mișcare, ea se înlocuiește cu

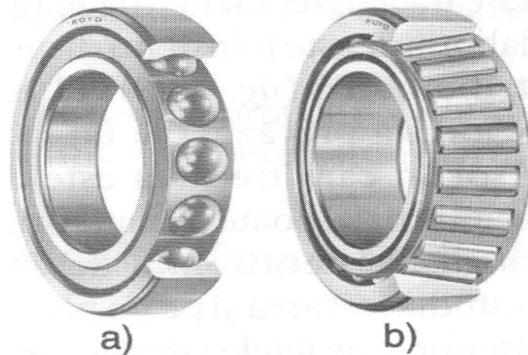


Fig. 6. Rulmenți [4]

frecarea la rostogolire. Aceasta se poate realiza cu ajutorul rulmenților cu bile și cu role, construcția căroră este prezentată în Fig. 6. Dacă se folosesc și lubrifianți, atunci frecarea devine foarte mică.

Frecarea între corpurile solide ce se află în contact fără lubrifiant este numită *frecare uscată*. Când însă un corp solid se mișcă, fiind în contact cu un lichid sau gaz, de asemenea apare o forță paralelă cu suprafața de contact și orientată în sens opus mișcării, adică în sens contrar vitezei relative a corpului.

Această forță ne amintește forța de frecare de alunecare și deseori ea este numită **forță de frecare fluidă**, numită uneori și **forță de rezistență** [3, 4].

Forța de frecare fluidă este mult mai mică decât forța de frecare uscată. De exemplu, aflându-ne pe o plută și folosind o prăjină am putea pune pluta în mișcare cu un efort relativ mic. Însă, o asemenea deplasare cu aceeași plută pe uscat este de neconceput.

Anume de aceea lubrifianțul reduce forța de frecare între solide adică frecarea încetează să mai fie uscată!

În lichide și gaze nu există forță de frecare de repaus. Chiar și o forță oricât de mică aplicată unui corp, ce se află în lichid sau gaz, imprimă acestuia accelerație.

Acest lucru se poate demonstra

ușor cu următorul experiment. Așezăm pe suprafața apei dintr-un vas larg o bară mică de lemn. Putem pune ușor în mișcare bara dacă suflăm spre ea, sau împingând-o cu o foiță de hârtie (Fig. 7.a) [3]

Forța de rezistență se situează în planul de contact și este orientată în sens opus vitezei relative v_r a corpului în raport cu lichidul sau gazul, valoarea numerică a ei fiind în funcție de modulul acestei viteze. Pentru viteze relative mici ale corpului forța de rezistență este proporțională cu valoarea vitezei:

$$F_r = \alpha v_r, \tag{4}$$

iar pentru viteze mari – cu pătratul vitezei relative:

$$F_r = \beta v_r^2, \tag{5}$$

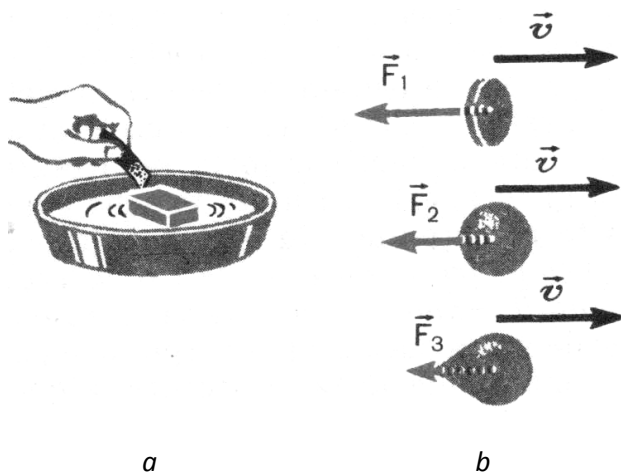


Fig. 7. Demonstrarea forței de rezistență [3]

unde α și β sunt coeficienți de proporționalitate ce caracterizează rezistența lichidului sau gazului.

Forța de rezistență mai depinde de forța, dimensiunile corpurilor și calitatea prelucrării suprafețelor. În figura 7.b sunt reprezentate trei corpuri de diferite forme, dar cu aceeași arie a secțiunii transversale. La mișcarea acestor corpuri într-un lichid sau gaz

forța de rezistență maximă este aceea care acționează asupra discului plat (\vec{F}_1), iar minimă este aceea care acționează asupra corpului de forma unei picături (\vec{F}_3).

Forma geometrică a corpurilor pentru care forța de rezistență este minimă se numește **formă aerodinamică**. Ea are o importanță deosebită la construirea avioanelor, submarinelor, automobilelor și a altor mecanisme care înfruntă rezistența lichidelor sau a gazelor. Forma aerodinamică reduce semnificativ forța de rezistență. Au formă aerodinamică și animalele ce locuiesc în apă. Pentru demonstrarea acestor dependențe se folosește o balanță cu brațe

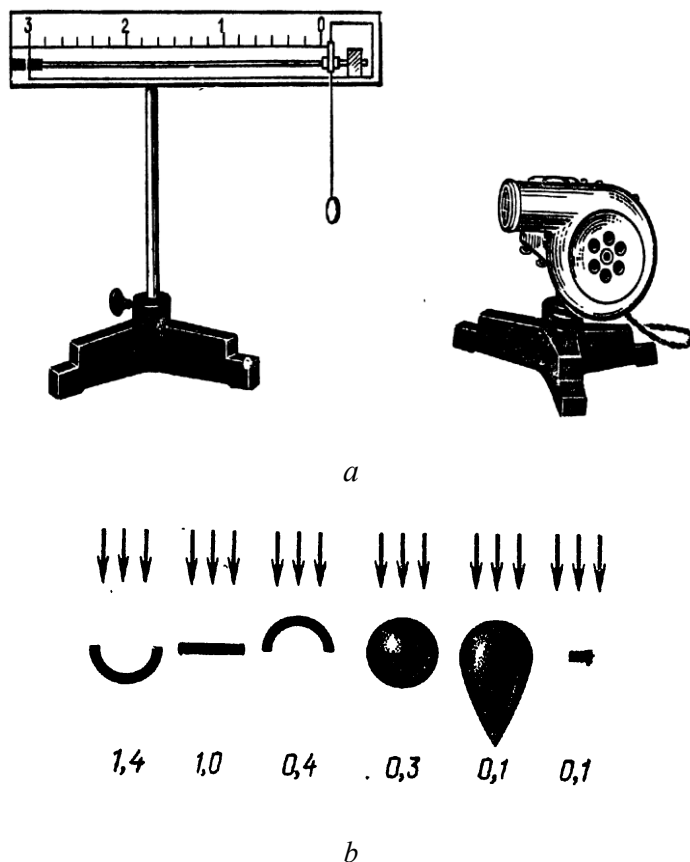


Fig. 8. (a) Dispozitiv pentru demonstrarea forței aerodinamice;

(b) Corpuri introduce în calea fluxului de aer și valoarea forței aerodinamice [2]

neegale, care se fixează în mufa stativului universal (Fig. 8.a) [2]. Din cele două discuri plate din set se alege discul cu diametru mai mare și se fixează în susținătorul balanței. Călărețul se pune pe pârghie în dreptul diviziunii zero și prin rotirea contragreutății se caută să se obțină coincidența indicatorului cu semnul de pe carcasa balanței.

Așezăm suflanta la distanța de 20 – 25 cm de plăcuță, așa cum este indicat în figura 8.a, și o conectăm la sursa de curent. În acest caz balanța iese din echilibru. Mișcând călărețul spre capătul balanței, sau schimbând distanța disc – suflantă, se restabilește echilibrul. Poziția călărețului indică în unități convenționale valoarea forței aerodinamice în condițiile date.

Modificând viteza fluxului de aer (cu ajutorul unui reostat sau regulator de tensiune) se atrage atenție elevilor asupra devierii în sus sau jos a pârghiei, ceea ce demonstrează influența vitezei fluxului de aer asupra valorii forței de rezistență.

Apoi, se fixează pe balanță un alt disc, dar cu diametru de trei ori mai mic. Restabilind echilibrul prin deplasarea călărețului se demonstrează că rezistența s-a micșorat de 9 ori, adică de același număr de ori de câte ori s-a micșorat și aria secțiunii transversale a corpului. Dependența forței de rezistență de forma corpului a fost studiată și pentru alte forme geometrice din setul dispozitivului, care au fost puse în fața fluxului de aer. Luând ca bază forța de rezistență a discului mare egală cu unitatea, au fost studiate valorile acestei forțe pentru celelalte corpuri din setul dispozitivului (Fig. 8.b) [2].

3.Concluzii

1. În condițiile reformelor repetate, a unui buget alocat educației, a modificării structurii calificării solicitate pe piața muncii, a unei reticențe din ce în ce mai mare a elevilor în fața actului de instruire, reticență cauzată în esență de ierarhia inversă a valorilor indusă de reușita socială, învățământul preuniversitar trebuie să găsească cel mai bun echilibru între volumul și calitatea informațiilor pe de o parte și prezentarea atractivă, interactivă și stimulativă pe de altă parte.

2. În lucrare au fost descrise cinci experimente demonstrative clasice și de alternativă, care ar trebui să fie utilizate de profesori la orele de fizică. Efectuarea acestor experimente favorizează formarea la elevi a abilităților intelectuale, practice și creative. Profesorul trebuie să elaboreze metodică de efectuare a experimentelor, astfel încât să lase elevilor posibilitatea de manifestare a inițiativei și independenței în efectuarea lor.

3. Materialul prezentat poate fi de real folos elevilor, studenților, cadrelor didactice, precum și tuturor celor care doresc să-și aprofundeze cunoștințele din domeniu.

Referințe bibliografice:

1. БУРОВ, В.А., ЗВОРЫКИН, Б.С., Покровский, А. А., Румянцев, И.М., *Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы, часть I, Механика, Теплота*, под ред. А. А. Покровского, Москва «Просвещение», 1976.
2. *Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе, часть 1, Механика, молекулярная физика, основы электричества*, под ред А.А. Покровского, Москва, «Просвещение», 1978.
3. КИКОИН, I.K., КИКОИН, А.К., *Физică, manual pentru clasa a IX-a a școlii medii*, Chișinău, Editura „Lumina”, 1995.
4. MARINCIUC, M., RUSU S., *Физică, manual pentru clasa a 10-a, Profil real. Profil umanist*, Chișinău, Editura „Știința”, 2012.
5. ШАХМАЕВ, Н.М., ШИЛОВ, В.Ф., *Физический эксперимент в средней школе: Механика, Молекулярная физика, Электродинамика*, Москва «Просвещение», 1989.
6. МАРГОЛИС, А. А., ПАРФЕНТЬЕВА, Н. Е., ИВАНОВА, Л. А., *Практикум по школьному физическому эксперименту*, Москва, «Просвещение», 1977.