

TRUSA DE MECANICĂ ASISTATĂ DE CALCULATOR. I. PROCESAREA DATELOR

Alexandru RUSU, Constantin PÎRȚAC, Spiridon RUSU
preuniversitas@gmail.com

Trusa de mecanică asistată de calculator reprezintă o instalație unificată de laborator destinată efectuării a 70 experiențe de mecanică utilizând cele mai simple și generale metode de cercetare experimentală. Aceste experiențe, majoritatea cărora se pot efectua în mai multe variante, pot fi considerate nu numai ca lucrări practice sau de laborator pentru învățământul preuniversitar, ci și ca o mică culegere de probleme experimentale de mecanică. Trusa conține un cronometru digital ce permite măsurarea unui număr de la 1 până la 99 intervale consecutive de timp cu precizia de 0,0001 s, utilizând unul sau doi senzori. Intervalele de timp măsurate sunt introduse în calculator, care le procesează urmând un soft elaborat special pentru această trusă. Softul permite determinarea mărimilor căutate, estimarea erorilor și construirea graficelor dependențelor studiate, folosind metoda celor mai mici pătrate. Softul elaborat mai permite elevului să întocmească un referat privind experimentul realizat. Timpul de efectuare a majorității experiențelor și de elaborare a referatului este de cel mult 25 – 35 min, elevii având la dispoziție 10 - 20 min pentru analiză, dezbateri în grup și formularea de concluzii.

Trusa de mecanică asistată de calculator reprezintă o instalație unificată de laborator care a fost proiectată și realizată cu scopul facilitării lucrului profesorului, dar și al elevului la măsurarea, procesarea datelor experimentale și întocmirea referatului la experiența efectuată. Un alt scop a fost facilitarea însușirii de către elevi a celor mai simple și generale metode de cercetare experimentală. Cu ajutorul acestei truse pot fi verificate experimental relațiile cinematice valabile la mișcarea rectilinie uniform variată pe planul înclinat (13 experiențe) și la căderea liberă (7 experiențe), principiul fundamental al dinamicii mișcării de translație (11 experiențe), legea lui Hooke pentru deformațiile de comprimare și dilatare (6 experiențe), legea conservării impulsului în interacțiunile elastice și plastice (8 experiențe), teorema despre variația energiei cinetice a unui corp supus acțiunii forței de greutate, de frecare sau elastice (10 experiențe), legea conservării energiei mecanice (8 experiențe), formulele pentru perioada oscilațiilor pendulului elastic și gravitațional (7 experiențe). În aceste experiențe, pe lângă verificarea unei legi sau relații, de regulă, se determină și o mărime fizică cum ar fi, de exemplu, viteza instantanee a unui corp, accelerația mobilului, accelerația gravitațională, constanta de elasticitate a unui resort, coeficientul de frecare (rezistență), forța de frecare, lucrul forțelor disipative ș. a.

Verificarea legilor fizice și determinarea cu precizie satisfăcătoare a unor mărimi fizice depinde de precizia cu care se măsoară intervalele de timp și distanțele parcurse de corpuri în experiența efectuată. Vom observa că în laborator cele mai accesibile distanțe S sunt cele de ordinul 0,5 m. Aceste distanțe sunt parcurse de către diferite mobile în intervale mici de timp, intervale care trebuie măsurate cu o exactitate suficientă pentru a obține rezultate satisfăcătoare la efectuarea experiențelor. De exemplu, fie că dorim să determinăm accelerația gravitațională g , pornind de la relația dintre înălțimea și timpul căderii libere a unui corp $h = gt^2/2$. Timpul căderii lui de la înălțimea $h = 0,3$ m este $t = 0,2473$ s, dacă măsurăm cu o eroare maximă $\Delta t = 0,0001$ s sau $t = 0,247$ s, dacă măsurăm cu eroarea maximă $\Delta t = 0,001$ s. Intervalului de timp $t = 0,2473$ s îi corespunde valoarea accelerației gravitaționale $g = 2h/t^2 = 9,81$ m/s², iar intervalului $t = 0,247$ s - valoarea

$g = 2h/t^2 = 9,83 \text{ m/s}^2$. Dacă eroarea măsurării este $\Delta t = 0,0001 \text{ s}$ și timpul de zbor măsurat este $t = 0,2472 \text{ s}$, atunci accelerația gravitațională determinată va fi $g = 9,82 \text{ m/s}^2$. Dacă eroarea este $\Delta t = 0,001 \text{ s}$ și timpul de zbor măsurat este $t = 0,246 \text{ s}$, atunci $g = 9,91 \text{ m/s}^2$. Acest exemplu ne demonstrează că, dacă nu ținem seama de erorile întâmplătoare și sistematice în experiență, precum și de eroarea comisă la măsurarea înălțimii h , folosirea unui cronometru cu precizia $\Delta t = 0,001 \text{ s}$ conduce la determinarea accelerației gravitaționale cu o eroare de ordinul $0,1 \text{ m/s}^2$, pe când în cazul unui cronometru de precizia $\Delta t = 0,0001 \text{ s}$ această eroare este de ordinul $0,01 \text{ m/s}^2$. Astfel, dacă dorim să determinăm accelerația gravitațională cu precizia de ordinul $0,01 \text{ m/s}^2$, trebuie să folosim un cronometru cu precizia $\Delta t = 0,0001 \text{ s}$. Această precizie este convenabilă și pentru verificarea mai multor legi și relații mecanice, mai ales, în cazurile când pentru verificări sunt necesare intervale mici de timp.

Trebuie să menționăm că metoda folosită în exemplul de mai sus la determinarea accelerației gravitaționale este o metodă foarte aproximativă, întrucât ea nu ține seama de erorile întâmplătoare și, mai ales, de cele sistematice comise în experiment la măsurarea intervalului de timp și a înălțimii. Experiența ne demonstrează că eroarea întâmplătoare Δt la măsurarea timpului poate fi diminuată dacă măsurarea se repetă de un număr mare de ori, N , și se iau valorile medii ale timpului măsurat și ale erorii absolute:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad \Delta \bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta t_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\bar{t} - t_i| \quad (1)$$

Însă, valoarea accelerației gravitaționale determinată cu ajutorul formulei $g = 2h/\bar{t}^2$ se poate deosebi cu mult de cea adevărată, întrucât, de regulă, în astfel de măsurări există și o eroare sistematică, δt , care poate fi (deseori, cu mult) mai mare decât cea întâmplătoare. Rezultă că determinarea valorilor medii \bar{t} și $\Delta \bar{t}$ nu ajută la nimic atâta timp cât nu este eliminată influența erorii sistematice δt asupra valorii accelerației gravitaționale g . Dacă, de exemplu, $\delta t \approx 0,01 \text{ s}$, atunci cronometrul va indica pentru $h = 0,3 \text{ m}$ $\bar{t}_1 = 0,2573 \text{ s}$ sau $\bar{t}_2 = 0,2373 \text{ s}$ în loc de $\bar{t} = 0,2473 \text{ s}$ cât ar trebui să indice. Acestor valori ale intervalului de timp le vor corespunde două valori ale accelerației gravitaționale: $g_1 = 2h/\bar{t}_1^2 = 9,06 \text{ m/s}^2$ sau $g_2 = 2h/\bar{t}_2^2 = 10,65 \text{ m/s}^2$. Ambele valori se deosebesc prea mult de valoarea așteptată și cunoscută a accelerației gravitaționale $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Valoarea $\delta t \approx 0,01 \text{ s}$ pentru eroarea sistematică nu este exagerată. Ea poate să se obțină în experiență și se explică prin faptul că este foarte dificil de stabilit senzorul cronometrului astfel încât la eliberarea corpului obturatorul lui să acopere imediat fasciculul senzorului și astfel să declanșeze măsurarea timpului. De regulă, corpul parcurge o mică distanță δh înainte de a declanșa măsurarea timpului. Acestei distanțe mici îi corespunde un interval de timp mic $\delta t \approx \sqrt{2\delta h/g}$ neînregistrat de cronometru la fiecare repetare, care intervine ca o eroare sistematică. Dacă, de exemplu, $\delta h = 0,2 \text{ mm}$, atunci pentru eroarea sistematică obținem $\delta t \approx 0,006 \text{ s}$, iar dacă $\delta h = 0,5 \text{ mm}$, atunci $\delta t \approx 0,01 \text{ s}$.

Pentru a elimina influența erorii sistematice asupra valorii măsurate a accelerației gravitaționale g , observăm că formula $h = gt^2/2$ poate fi scrisă sub forma $\sqrt{h} = \sqrt{g/2} t$. Această relație reprezintă o funcție liniară de tipul

$$Y = pX + b, \quad (2)$$

unde $Y = \sqrt{h}$ și $X = t$. Graficul acestei funcții este o dreaptă cu panta $p = \sqrt{g/2}$ (fig. 1). Astfel, construind graficul dependenței liniare (2) și determinându-i panta $p = \operatorname{tg}\alpha$, putem determina accelerația gravitațională: $g = 2p^2$. Această valoare nu mai este influențată de eroarea sistematică, întrucât valoarea pantei nu depinde de ea. Dacă intervalul de timp măsurat diferă de fiecare dată cu δt , atunci termenul liber în (2) este $b = -p\delta t$ și eroarea sistematică $\delta t = -b/p$. Rezultă că eroarea sistematică la măsurarea mărimii X conduce numai la deplasarea graficului dreptei în întregime în sens opus axei absciselor cu $X_0 = \delta t$ (fig. 1).

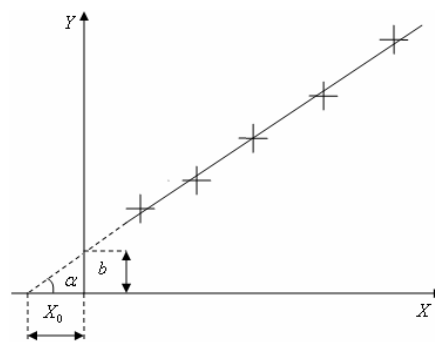


Fig. 1

În trusa de mecanică asistată de calculator se folosește un cronometru digital proiectat să măsoare și să memoreze un număr de la 1 până la 99 intervale consecutive de timp (în continuare aceste intervale vor fi notate prin $t_1, t_2, t_3, \dots, t_{99}$) cu precizia

$\Delta t = 0,0001 \text{ s}$,
folosind unul sau doi senzori.

Intervalele de timp măsurate pot fi citite, trecute în tabele și procesate manual sau la calculator. Procesarea la calculator este facilitată de posibilitatea transferului intervalelor de timp măsurate la portul serial al calculatorului.

Verificarea experimentală a legilor și relațiilor fizice în majoritatea cazurilor poate fi efectuată cu ajutorul graficului funcției liniare (2). Pentru construirea graficului sunt necesare n puncte experimentale, adică n perechi de valori experimentale: $(X_1, Y_1); (X_2, Y_2); (X_3, Y_3); \dots; (X_n, Y_n)$. deseori valorile Y_1, Y_2, \dots, Y_n reprezintă valori medii obținute în urma mai multor măsurări ale acestora pentru una și aceeași valoare a mărimii X . De exemplu, pentru valoarea X_i , care a fost măsurată o singură dată, s-au obținut N valori ale mărimii Y_i . Se poate întâmpla și invers când pentru o valoare fixă a mărimii Y se obțin mai multe valori ale mărimii X și atunci mărimile X_i vor avea sensul unor valori medii. Dacă pe ambele axe de coordonate se reprezintă mărimi măsurate indirect, atunci se pot

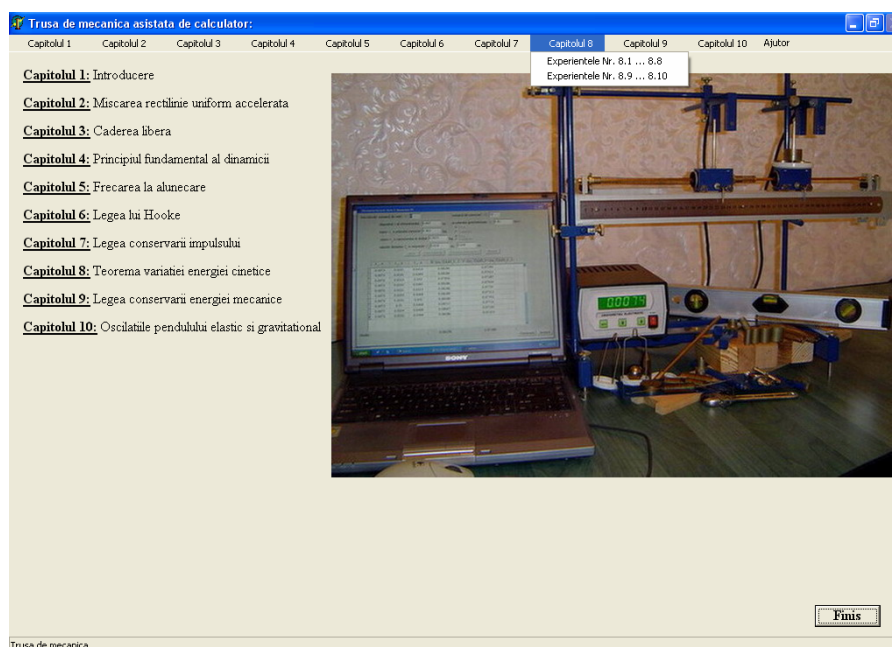


Fig. 2

Întâlni cazuri când atât X_i cât și Y_i vor reprezenta niște valori medii:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j \quad \bar{Y}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Y_j \quad \text{și /sau} \quad (3)$$

Cu ajutorul acestor valori medii se calculează erorile medii $\Delta\bar{X}_i$ și $\Delta\bar{Y}_i$ sau numai una din ele, după caz, pentru fiecare serie de măsurări, adică pentru fiecare din n puncte experimentale:

$$\Delta\bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |\bar{X}_i - X_j| \quad \Delta\bar{Y}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |\bar{Y}_i - Y_j| \quad \text{și /sau} \quad (4)$$

Deoarece în procesul măsurărilor se comit erori întâmplătoare, diferențele (abaterile de la dreapta (2)): $Y_1 - pX_1 - b, Y_2 - pX_2 - b, \dots, Y_n - pX_n - b$, vor fi diferite de zero. Problema constă în determinarea acelor valori ale parametrilor p și b , pentru care dreapta (2) cel mai bine va trece prin punctele experimentale. Se poate demonstra că valorile optime ale parametrilor p și b se obțin atunci când suma pătratelor abaterilor de la dreapta (2), adică mărimea

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - pX_i - b)^2 \quad (5)$$

este minimă. De aici și rezultă denumirea: *metoda celor mai mici pătrate*. Din condiția de minim al sumei (5) rezultă următoarele valori ale parametrilor p și b :

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})Y_i}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad b = \bar{Y} - p\bar{X} \quad (6)$$

unde

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (7)$$

Pentru erorile absolute (abaterile standard) și relative ale pantei și termenului liber se obțin relațiile:

$$Dp \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - pX_i - b)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}, \quad \varepsilon_p = \frac{\Delta p}{p} \quad (8)$$

$$\Delta b \approx \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - pX_i - b)^2}{n-1}}, \quad \varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b} \quad (9)$$

Observăm că dacă în experiența concretă este nevoie de segmentul tăiat de dreaptă pe axa absciselor X_0 (fig. 1), atunci el se determină din condiția $Y = 0$, obținându-se

$$X_0 = -b/p \quad (10)$$

Erorile absolută și relativă ale mărimii X_0 sunt:

$$\Delta X_0 = \frac{b\Delta p + p\Delta b}{p^2}, \quad \frac{\Delta X_0}{X_0} = \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta b}{b}. \quad (11)$$

Sensul fizic al pantei p a dreptei construite, precum și a segmentelor X_0 și b tăiate de dreaptă pe axele de coordonate depinde de experiența efectuată. Metoda celor mai mici pătrate presupune determinarea mărimilor p , b și X_0 efectuând n serii a câte N măsurări. Experiența demonstrează că valorile medii \bar{X}_i și/sau \bar{Y}_i în cadrul seriei cu numărul i (vezi (3)) vor fi cu atât mai apropiate de valorile lor adevărate, cu cât numărul de măsurări N în cadrul acestei serii va fi mai mare. În mod analog, mărimile p , b și X_0 vor fi cu atât mai apropiate de valorile lor adevărate cu cât numărul seriilor de măsurări n va fi mai mare. În majoritatea cazurilor se obțin rezultate bune dacă $N \geq 10$ și $n \geq 5$.

Totuși, datorită preciziei înalte a cronometrului electronic, în unele cazuri se obțin rezultate satisfăcătoare chiar și pentru $N = 1$, dacă $n \geq 7$. În acest caz numărul mic de repetări ($N = 1$)

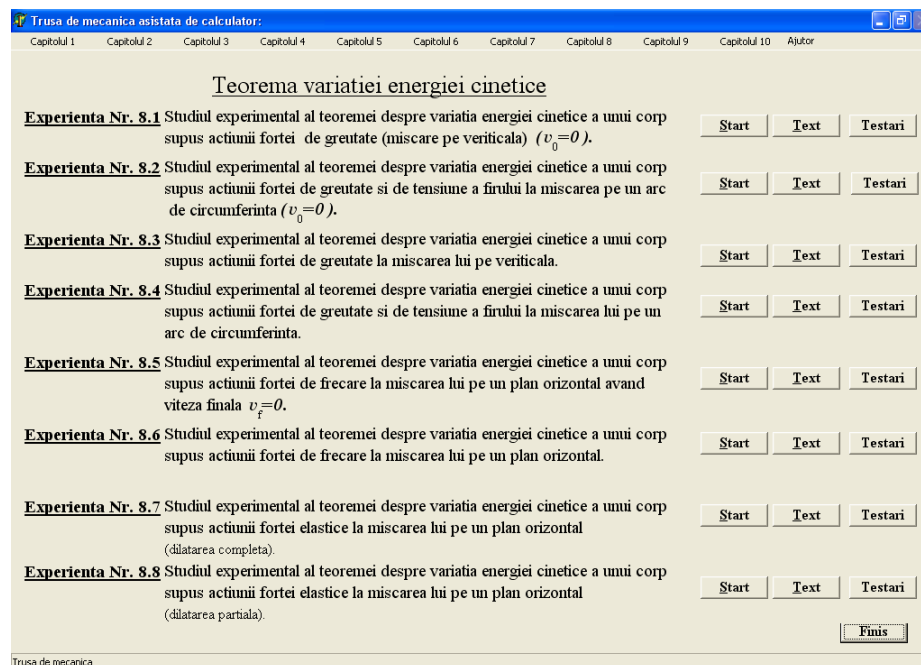


Fig. 3

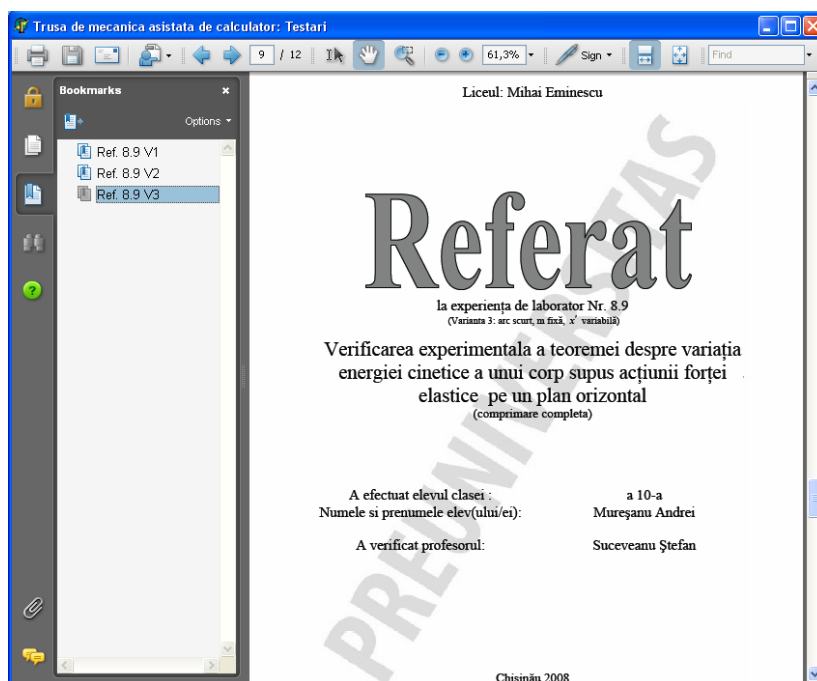


Fig. 4



Fig. 5

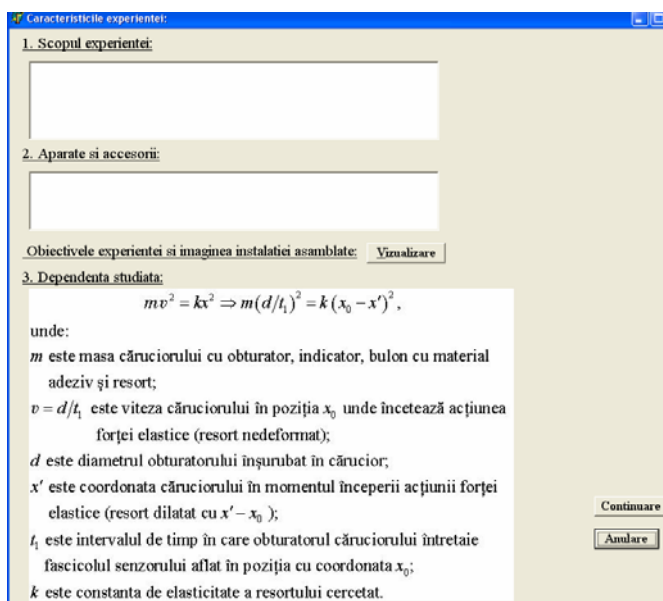


Fig. 6

este compensat de un număr mai mare de serii ($n \geq 7$). Însă, chiar pentru valori nu prea mari ale numerelor n și N calculul manual

al mărimilor p , b , X_0 și al erorilor acestora Δp , Δb , ΔX_0 cu ajutorul formulelor (6) – (11), precum și construirea graficului dependenței studiate cer foarte mult timp. Această dificultate poate fi înlăturată dacă se folosește softul elaborat pentru procesarea datelor la efectuarea celor 70 de experiențe propuse. În acest caz nu se pierde timp nici măcar pentru introducerea în calculator a intervalelor de timp măsurate cu cronometrul electronic, întrucât acesta este interfațat calculatorului și intervalele de timp se transferă automat.

La calcularea erorilor este important să înlăturăm erorile grave (gafele), care pot apărea într-un număr mare de măsurări (repetări). Dacă numărul de măsurări în seria cu numărul i este $N \geq 10$ și $\Delta X_j / \Delta \bar{X}_i > 4$, atunci rezultatul măsurării cu numărul j din această serie trebuie înlăturat, considerându-se că în măsurarea respectivă s-a comis o eroare gravă (gafă). În continuare, valoarea medie în seria cu numărul i , adică mărimea \bar{X}_i se calculează fără a folosi rezultatul măsurării j din această serie. Experiența demonstrează că metoda propusă de înlăturare a erorilor grave este valabilă pentru $10 \leq N < 100$.

Fiecare experiență din cele 70 propuse este asigurată cu softul necesar pentru transferul intervalelor de timp măsurate de la cronometrul electronic la calculator, procesarea datelor experimentale, dar și pentru întocmirea referatului la experiența efectuată. Accesând programul trusei de mecanică asistată de calculator (TMAC) apare imaginea trusei și lista celor 10 capitole din care acesta este compus (fig. 2). Butoanele acestor capitole sunt afișate pe bara de meniu. Acționând, de exemplu, butonul „Capitolul 8”, mai jos apar numerele experiențelor (fig. 2) ce pot fi efectuate în cadrul acestuia. În cazul capitolului 8 astfel de experiențe sunt 10. Ele sunt distribuite în două ferestre: în prima – 8 (fig. 3), iar în a doua – 2. La fiecare experiență sunt 3 butoane: „Start”, „Text” și „Testări” (fig. 3). Dacă se execută un click pe butonul „Text”, atunci apare textul experienței respective elaborat atât pentru cazul efectuării ei folosind transferul și procesarea datelor la calculator, cât și fără a folosi acest transfer și procesare. Acest text poate fi salvat sub alt nume și poate fi imprimat în întregime.

Toate experi-ențele propuse au fost testate în diferite cazuri posibile. Ele sunt prezentate sub forma referatelor întocmite cu ajutorul softului propus (circa 220 de variante). Rezultatele testărilor pot fi accesate, exe-cutând un click pe butonul „Testări” (fig. 3). Ele pot fi salvate sub un alt nume, iar fiecare referat-test (fig. 4) poate fi imprimat în întregime.

Dacă se execută un click pe butonul „Start”, atunci se inițiază programul pentru întocmirea referatului și procesarea datelor experimentale la experiența selectată, pe ecran apărând fereastra numită **Pagina de titlu** (fig. 5). Ea conține denumirea liceului, denumi-rea experienței, clasa, numele elevului, numele profesorului, denumirea localității. Toate aceste rubrici sunt completate de către elev. În fereastra **Pagina de titlu** sunt plasate 2 butoane: „Continuare” și „Anulare”. Prin executarea unui click pe butonul „Anulare” revenim la fereastra anterioară, iar printr-un click pe butonul „Continuare” se deschide fereastra următoare numită **Caracteristicile experienței** (fig. 6). Ea conține punctul 1. Scopul experienței și

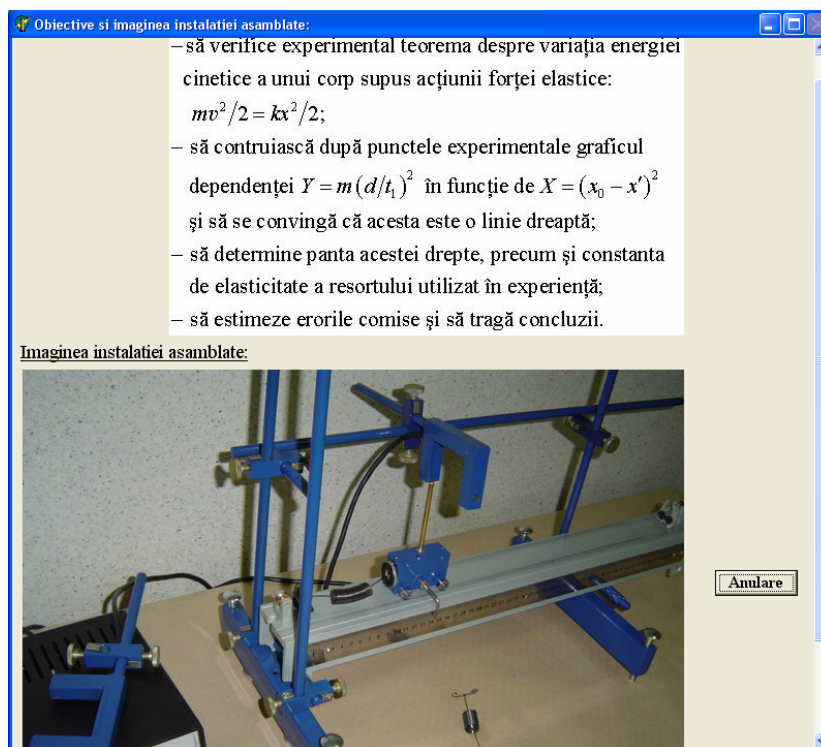


Fig. 7

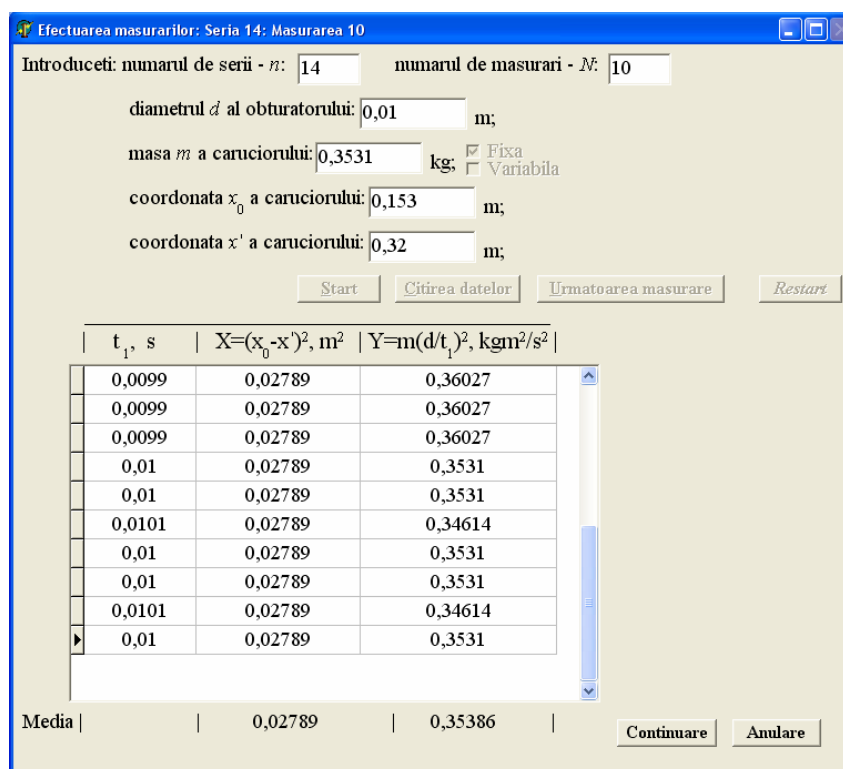


Fig. 8

punctul 2. **Aparate și accesorii**, care se completează de către elev. Punctul 3. **Dependența studiată** este completat din start. În el se afișează dependența studiată, exprimată în mărimi direct măsurabile și se explică ce reprezintă fiecare din mărimile fizice prezente în această dependență. Toate aceste 3 puncte ulterior vor intra în referatul experienței efectuate. După punctul 2. **Aparate și accesorii** este afișată expresia „**Obiectivele experienței și imaginea instalației asamblate**” cu butonul „**Vizualizare**”. Dacă se execută un click pe acest buton, atunci apare fereastra „**Obiective și imaginea instalației asamblate**” (fig. 7), în care sunt prezentate obiectivele experienței și imaginea trusei asamblate pentru efectuarea experienței selectate. În fig. 7 este reprezentată fereastra „**Obiective și imaginea instalației asamblate**” la experiența 8.9: „**Verificarea experimentală a teoremei despre variația energiei cinetice a unui corp supus acțiunii forței elastice pe un plan orizontal (comprimare completă)**”. În această fereastră este plasat un singur buton „**Anulare**”, un click pe care deschide fereastra anterioară (fig. 6).

În fereastra **Caracteristicile experienței** sunt situate butoanele „**Continuare**” și „**Anulare**”. Cu un click pe butonul „**Anulare**” se poate reveni la fereastra anterioară, iar printr-un click pe butonul „**Continuare**” se deschide următoarea fereastră numită „**Efectuarea măsurărilor**”. În fig. 8 este reprezentată această fereastră pentru experiența 8.9. Aici se cere introducerea mai multor mărimi: numărul seriilor de măsurări n ce urmează a fi efectuate (în exemplul analizat s-au luat $n = 14$ serii); numărul de măsurări N din cadrul fiecărei serii (s-au luat $N = 10$ măsurări); diametrul d al obturatorului înșurubat în cărucior (se măsoară cu șublerul) (a fost utilizat obturatorul cu diametrul $d = 10$ mm); masa m a căruciorului cu obturator, indicator, bulon cu resort fixat (se află prin cântărire, aici $m = 0,3531$ kg); coordonata poziției x_0 a căruciorului, în care asupra lui nu acționează forța elastică din partea resortului, acesta fiind nedeformat (se măsoară cu ajutorul indicatorului căruciorului de pe rigla planului, în exemplul analizat fiind $x_0 = 0,153$ m) (fig. 7); coordonata poziției căruciorului x' la momentul eliberării lui și începerii efectuării lucrului mecanic de către forța elastică, când resortul este deformat cu $x' - x_0$ (se determină în mod analog). Mărimea x' variază pe parcursul experienței, în fig. 8 fiind afișată valoarea $x' = 0,32$ m ce corespunde ultimei, adică celei de a 14-a serii de măsurări. După introducerea acestor mărimi se va cere bifarea valorii masei căruciorului care pe parcursul tuturor seriilor poate să rămână fixă sau să varieze la trecerea de la o serie de măsurări la alta. În această experiență ea a fost păstrată fixă (fig. 8).

Dacă cronometrul electronic este pornit și conectat la portul COM al calculatorului, se pot iniția măsurările propriu zise. Acționând butonul „**Start**”, cronometrul se stabilește automat în regimul de măsurare a numărului necesar de intervale consecutive de timp pentru experiență selectată. În cazul experienței 8.9 acest număr este 1, întrucât este necesar numai intervalul de timp t_1 , în care obturatorul căruciorului accelerat de resort acoperă fascicoulul senzorului. La accesarea butonului „**Start**” se activează butonul „**Citirea datelor**”. Click-ul pe acest buton se va executa numai după ce cronometrul a măsurat intervalele de timp necesare în experiență. La acționarea acestui buton intervalele de timp stocate în cronometru după măsurarea efectuată vor fi trecute în tabel, calculându-se totodată mărimile X și Y (fig. 8).

Dacă măsurarea nu a avut loc în condițiile dorite, atunci ea poate fi repetată. În acest caz nu se mai execută click-ul pe butonul „**Citirea datelor**”, deci datele nu se citesc, și se acționează butoanele „**Restart**”, apoi „**Start**” inițiind o nouă măsurare. La accesarea butonului „**Citirea datelor**” se activează butonul „**Următoarea măsurare**”, după acționarea căruia se activează din nou butonul „**Start**”. Cu el se poate iniția următoarea măsurare din

seria de măsurări în curs de efectuare ș. a. m. d. În fig. 8 este reprezentată fereastra „Efectuarea măsurărilor” după acționarea butonului „Următoarea măsurare” când măsurarea cu numărul $N=10$ din seria $n=14$ fusese efectuată. Această accesare, fiind ultima din serie, conduce la calcularea valorilor medii ale mărimilor X și Y pentru seria dată. Softul ține seama și de eventualele gafe comise în experiment. Dacă în seria i există o măsurare j pentru care $\Delta X_j / \Delta \bar{X}_i > 4$, atunci această măsurare nu se va lua în seamă la calcularea valorilor medii ale mărimilor X și Y . Totodată, dacă se finalizează o serie intermediară, atunci ea conduce la dispariția valorii coordonatei căruciorului x' selectate pentru efectuarea seriei date de măsurări. Pentru a iniția o nouă serie de măsurări trebuie să introducem o nouă valoare a mărimii x' , apoi să acționăm butonul „Start”. În fig. 8 este reprezentată fereastra „Efectuarea măsurărilor” după terminarea ultimei serii de măsurări. Se observă că butoanele „Start”, „Citirea datelor”, „Următoarea măsurare” și „Restart” se dezactivează, dar se activează butonul „Continuare”, la acționarea căruia se deschide următoarea fereastră numită „Procesarea datelor” (fig. 9).

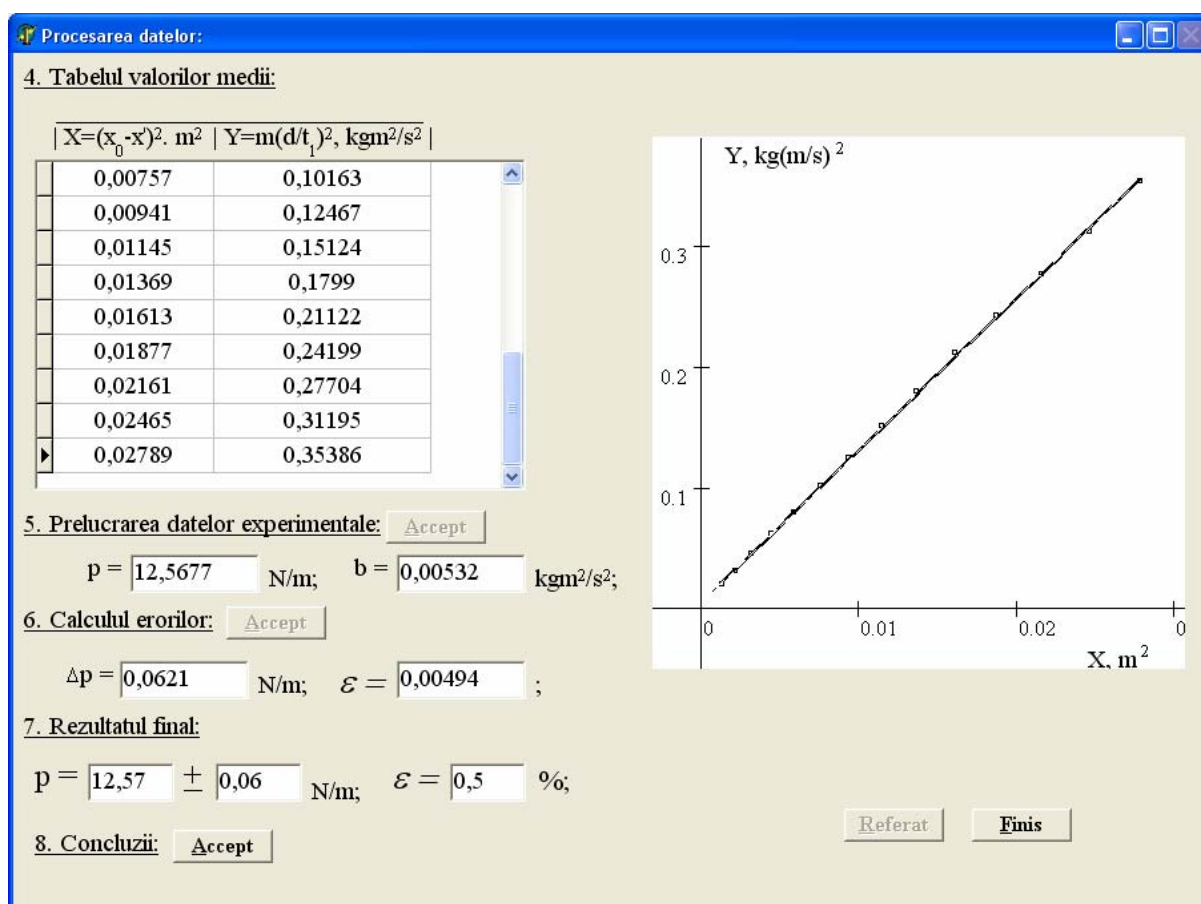


Fig. 9

La punctul 4 al acestei ferestre apare tabelul valorilor medii, constituit din 14 perechi de valori medii ale mărimilor X și Y obținute în urma efectuării celor $n=14$ serii a câte $N=10$ măsurări. La punctul 5. **Prelucrarea datelor experimentale** este activat butonul „**Accept**”. Executarea unui click pe acest buton conduce la calcularea pantei dreptei p și a

termenului liber b după metoda celor mai mici pătrate (vezi formulele (6) și (7)), precum și la construirea graficului dependenței $Y = pX + b$ (fig. 9). În experiența 8.9

$$X = (x' - x_0)^2,$$

$Y = m(d/t_1)^2$, iar panta dreptei p coincide cu constanta elastică k a resortului utilizat în experiență. După calcularea mărimilor p

și b se activează butonul „**Accept**” de la punctul 6. **Calculul erorilor**. La

acționarea acestuia se calculează erorile absolută Δp și relativă $\varepsilon = \Delta p/p$ a pantei dreptei după metoda celor mai mici pătrate (vezi (8)). În experiențele în care este necesar, se calculează, de asemenea, erorile absolută și relativă ale termenului liber b .

În continuare, analizând valorile pantei p și ale erorii absolute Δp , introducem rezultatul final (fig. 9) și cu ajutorul butonului „**Accept**” de la punctul 8. **Concluzii** deschidem fereastra următoare numită „**Concluzii**” (fig. 10). În această fereastră este afișat rezultatul final și eroarea relativă pentru a facilita formularea concluziilor. După formularea concluziilor (ele pot fi formulate și după salvarea referatului) accesând butonul „**Continuare**” revenim la fereastra „**Procesarea**

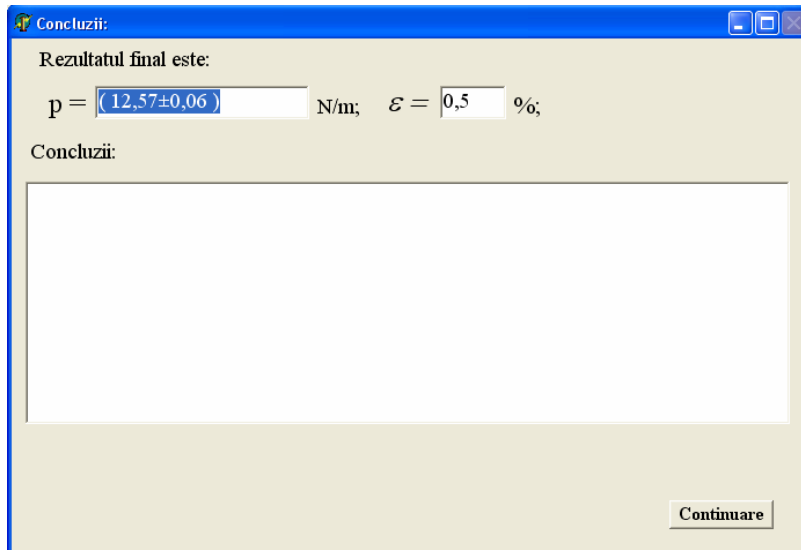


Fig. 10

datelor” în care este deja activat butonul „**Referat**” împreună cu butonul „**Finis**” activat pe parcursul întregii experiențe (fig. 9). Accesarea butonului „**Referat**” conduce la întocmirea

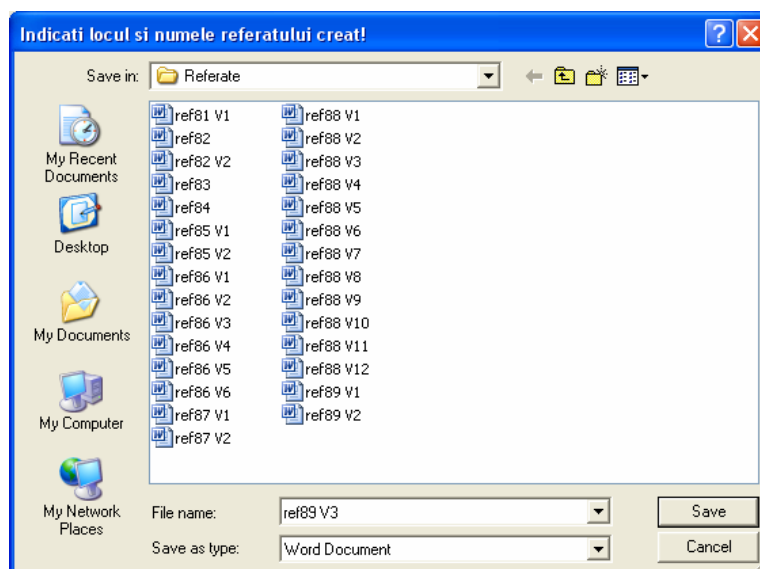


Fig. 11

referatului la experiența efectuată și la deschiderea unei noi ferestre în care cere indicarea locului și a numelui referatului creat, pentru salvarea acestuia. Referatul poate fi salvat în mapa dorită (fig. 11). După salvarea referatului, revenim la fereastra „Procesarea datelor” și prin acționarea butonului „Finiș” finalizăm lucrul cu programul la experiența efectuată și deschidem fereastra inițială (fig. 2) pentru a putea începe efectuarea unei alte variante a experienței sau a unei alte experiențe. Dacă nu se dorește efectuarea unei noi experiențe, atunci se acționează butonul „Finiș” din fereastra inițială (fig. 2) și se finalizează lucrul cu întregul program.

Referatul la experiența efectuată cuprinde pagina de titlu și 11 puncte: 1. Scopul experienței; 2. Aparate și accesorii; 3. Dependența studiată; 4. Schema experienței; 5. Tabelul măsurărilor (în referat se prezintă numai tabelul ultimei serii de măsurări); 6. Tabelul valorilor

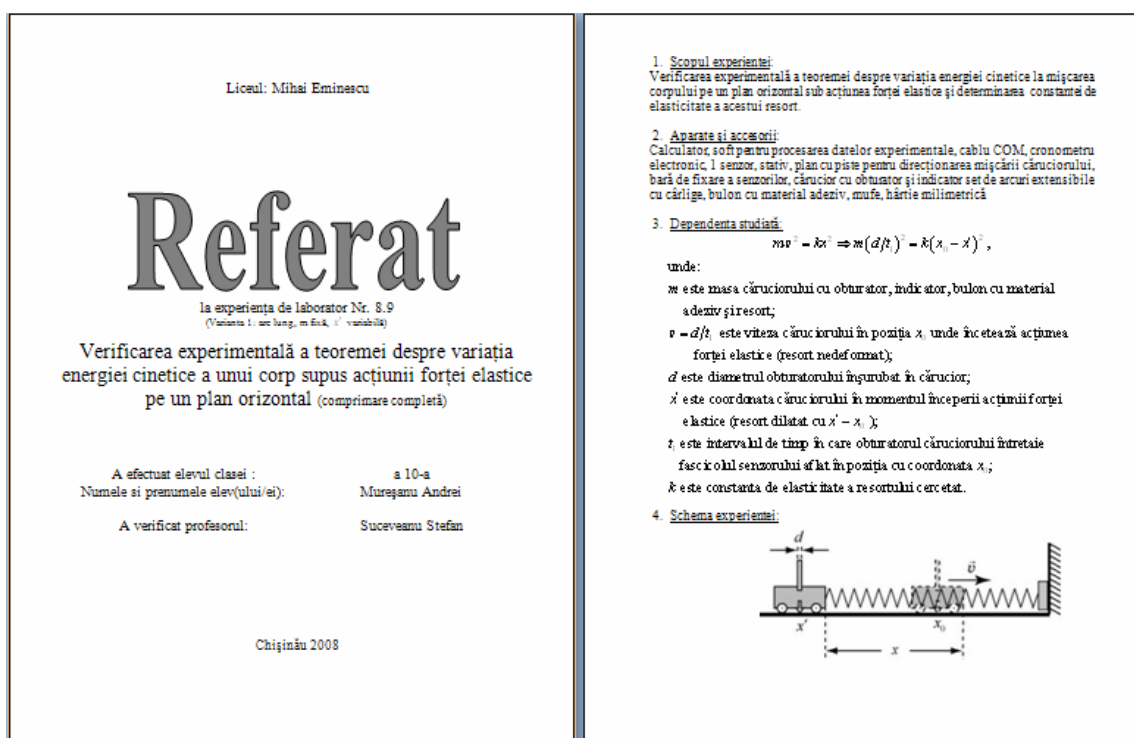


Fig. 12

medii (conține n perechi de valori medii ale mărimilor X și Y); 7. Prelucrarea datelor experimentale (conține valorile calculate (urmând metoda celor mai mici pătrate) ale pantei drepte și ale segmentelor tăiate de dreaptă pe axele de coordonate b și X_0 (dacă este necesar)); 8. Calculul erorilor (conține valorile calculate ale erorilor absolute și relative ale mărimilor calculate la punctul 7); 9. Rezultatul final; 10. Concluzii; 11. Graficul dependenței studiate (fig. 12, 13).

Din cele expuse rezultă că utilizarea softului elaborat pentru trusa de mecanică facilitează substanțial:

1. Formarea deprinderilor de efectuare a măsurărilor, de prelucrare a rezultatelor măsurărilor, de evaluare a erorilor comise, de sistematizare și generalizare a rezultatelor obținute;
2. Familiarizarea elevilor cu cele mai simple și generale metode de cercetare experimentală;

3. Lucrul elevului la procesarea datelor experimentale și întocmirea referatului la experiența efectuată;
4. Introducerea în procesul de studiere a fizicii, pe lângă problemele tradiționale, și a problemelor cu caracter de cercetare experimentală, întrucât cele 70 de experiențe propuse ce întrunesc circa 220 variante cu grade diferite de complexitate pot fi considerate nu numai drept lucrări practice sau de laborator, ci și o mică culegere de probleme experimentale de mecanică;

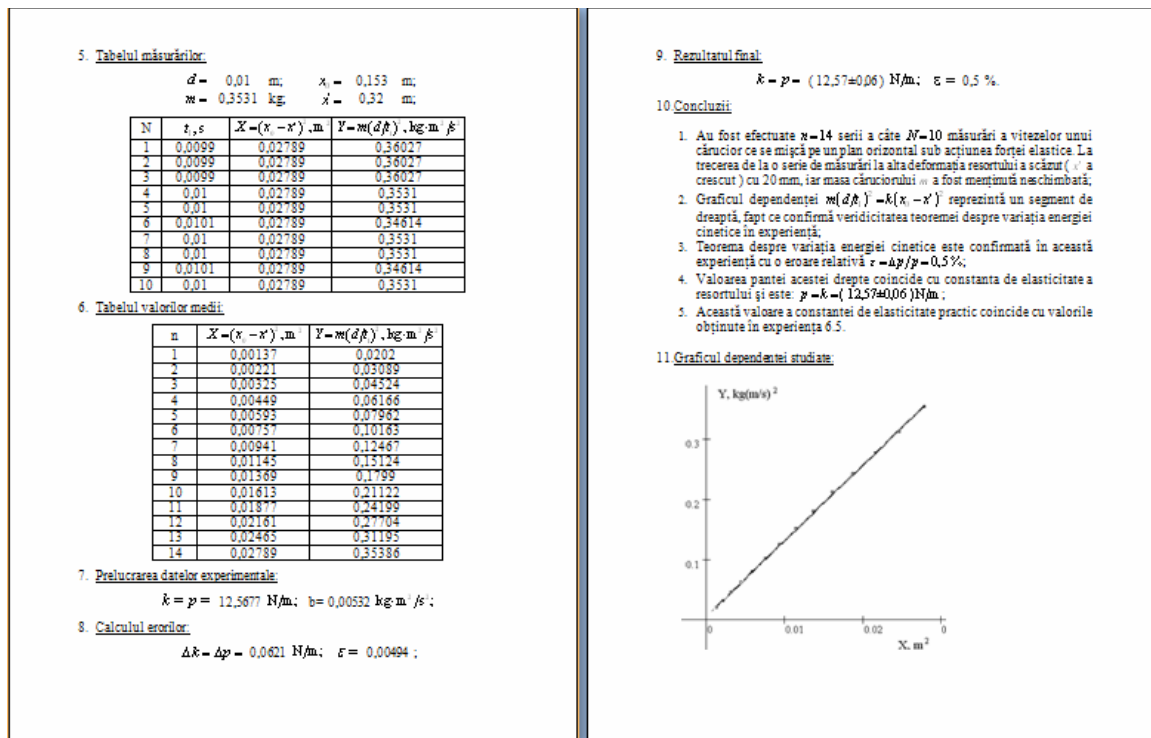


Fig. 13

5. Efectuarea de către elevii interesați a unor lucrări individuale cu caracter de cercetare experimentală ce pot conține diferite variante ale aceleiași experiențe sau determinarea unei mărimi fizice prin diferite experiențe;
6. Organizarea unor dezbateri privind rezultatele obținute la efectuarea experienței sau experiențelor de către diferite grupuri de elevi;
7. Lucrul profesorului pentru atingerea obiectivelor lecțiilor de fizică în învățământul preuniversitar;
8. Utilizarea unor variante ale experiențelor propuse în calitate de experiențe demonstrative.

BIBLIOGRAFIE

1. Dorn W.S., McCracken D. D. Metode numerice cu programe în FORTRAN IV (Cap. 7). Editura Tehnică, București, 1976, 468 p.
2. Alexandru Rusu, Spiridon Rusu, Constantin Pîrțac. Trusa de mecanică asistată de calculator, Revista Evrika, Nr.10, 2006.

Primit la redacție: 15 septembrie 2008