
„Constanta Miculescu” o dovadă elocventă a unei cunoașteri statistice experimentale profunde, în România finalului de secol al XIX - lea

Professor habil. Gheorghe SĂVOIU, PhD.
Universitatea din Pitești

Abstract

Această lucrare este de fapt un omagiu adus statisticii experimentale naționale, precum și personalităților acesteia, dintre care profesorul Constantin Miculescu constituie un reprezentant cu totul aparte, care a devenit în final și fondator al școlii naționale de fizică experimentală, deținând în paralele contribuții științifice internaționale remarcabile privind echivalențele dintre fenomenele mecanice și termice. Din această abordare statistică foarte riguroasă a experimentelor s-a născut și celebra constantă ce îi poartă numele. După aproape 125 de ani, acest articol supune unei analize statistice descriptive amănunțite toate cele 31 de valori experimentale, care susțin argumetația tezei de doctorat a fizicianului la Paris, valori care au oferit determinarea cu cea mai mare precizie a echivalentului mecanic al caloriei. Articolul constituie un pretext pentru a dezvălui în paralel cu certitudinile lui Constantin Miculescu legate de aproximarea sa estimată la nivelul celei de a treia zecimală și fundamentarea unei școli de statistică experimentală axată pe rigoare și profunzime a cunoașterii statistice. În esență gândirea sa statistică experimentală este astfel reamintită și redovedită ca fiind una aproape fără de cusur și beneficiind de o putere de anticipație a importanței sale științifice cu cel puțin o generație sau două înaintea altor abordări similare în cercetarea românească.

Key words: constantă, echivalent mecanic al caloriei, abatere experimentală, mediană, statistici descriptive, statistică experimentală.

INTRODUCERE

Fizician român de prestigiu internațional, dar și fondator al școlii naționale de fizică experimentală în cercetarea românească, profesorul Constantin Miculescu (1863-1937) a rămas consemnat în istoria științei pentru rezultatele sale notabile în termodinamică și optică. Principala sa contribuție în domeniul fizicii, așa cum apare menționată în toate enciclopediile contemporane (Wikipedia, 2015), poate fi regăsită chiar în lucrarea sa de doctorat, susținută în 1891, unde a prezentat determinarea prin experiment cea mai riguroasă și cu cel mai înalt grad de precizie a echivalentului mecanic al caloriei.

După ce a absolvit prestigiosul liceu *Matei Basarab* din București, unde și-a luat bacalaureatul în 1882, având drept mentori pe *Constantin I. Șonțu* și *Emanoil Bacaloglu*, remarcabili profesori de științe *fizico - chimice*, pe ultimul dintre aceștia reîntâlnindu-l și în cadrul studiilor universitare, dar și cursurile Facultății de Științe

din cadrul Universității din București în cadrul secției de fizică - matematică finalizate în 1886, tânărul Constantin Miculescu, a obținut o bursa la Paris unde a devenit mai întâi, în 1888, licențiat în Științe și apoi doctor în fizică la Universitatea Sorbona. Teza sa de doctorat, publicată sub titlul *Sur la détermination de l'équivalent mécanique de la calorie* (Marinescu, 1982) a fost coordonată științific de către profesorul Gabriel Lippmann (1845-1921), viitorul laureat al Premiului Nobel pentru fizică din anul 1908. Cuantificarea cât mai precisă a echivalentului mecanic al caloriei a constituit o preocupare esențială a fizicienilor după 1840, iar valorile determinate anterior, chiar de mari fizicieni ca J.M. Joule (1819-1889), E.M Lenz (1804-1865) și J.A. D'Arsouval (1851-1940), prezentau însă abateri experimentale destul de mari, mergând și până la 20% față de valoarea reală, fiind dificil de acceptat și ulterior de utilizat în practică. Valoarea echivalentului mecanic al caloriei descoperită de Constantin Miculescu a fost înscrisă în tabelele internaționale de constante și a devenit o constantă fundamentală a termodinamicii, după 1892 (Becquerel, 1897).

În 1939, profesorul Darmois de la Sorbona menționa cu satisfacția apartenenței la aceeași instituție educațională franceză a fizicianului român, din punctul de vedere strict al doctoratului, că metoda lui Miculescu a fost și *a rămas singura metodă cunoscută care a permis realizarea a două condiții teoretice esențiale: a) sistemul experimental să producă un lucru mecanic; b) să fie împiedicate pierderile de căldură spre exterior* (Darmois, 1947).

Constantin Miculescu a construit un dispozitiv special format dintr-un calorimetru cu apă în care erau roțiți cu un motor electric 4 cilindri concentrici, vasul calorimetric propriu-zis fiind înzestrat cu trei palete longitudinale și alte trei circulare pentru ca apa să nu capete nici mișcări circulare, nici longitudinale. Diferențele de temperatură ale apei, rezultate din transformarea lucrului mecanic efectuat de motorul în căldură, au fost măsurate prin intermediul unor termocuple, etalonate în prealabil. Forța electromotoare produsă de termocuple era măsurată prin metoda compensației. După un număr de 31 de experimente considerate clasice în lucrările de termodinamică și realizate exclusiv cu acest dispozitiv, Miculescu, a calculat propria valoare, care avea să devină un reper esențial în viitor, ca fiind de 4,184 J/cal. Această valoare este foarte apropiată de aceea utilizată în prezent, respective de 4,1855 J/cal. În anul 1950, Comitetul Internațional de Măsuri și Greutăți a adoptat valoarea găsită de Miculescu, ușor corectată, eroarea relativă de măsurare a acestei constante determinate de Miculescu fiind de numai 0,000358 sau 0,0358 %.

ARGUMENTAȚIE PROEXISTENȚIALĂ A VALOROASEI ȘCOLI DE GÂNDIRE STATISTICĂ EXPERIMENTALĂ ÎN ROMÂNIA

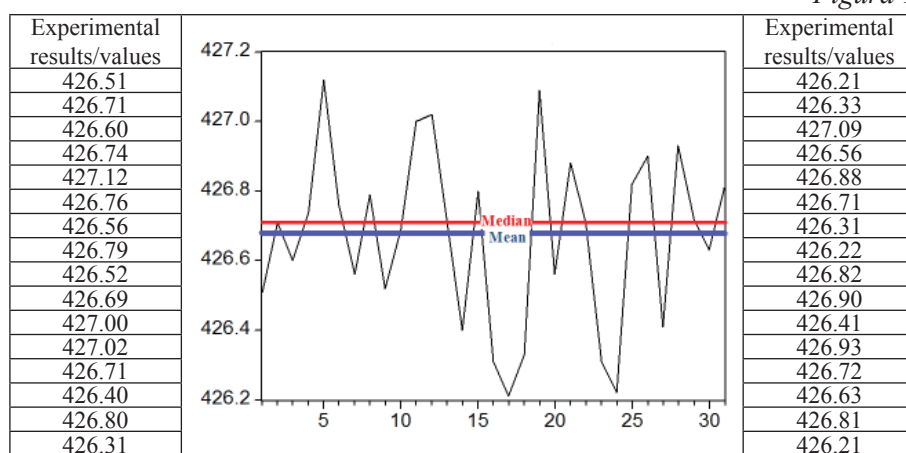
Sistemele interacționează în mod general, nefiind niciodată complet izolate și nici parametrii lor nu pot fi menținuți ficși ca atare. Variația totală a energiei unui sistem, în valoarea medie (ΔE_m) se descompune în lucru mecanic (W) și căldura absorbită (Q):

$$\Delta E_m = W + Q \quad (1)$$

Caloria este unitatea de căldură introdusă în fizica și chimia secolului al XVIII-lea și menținută încă în demersul investigațional al chimiei contemporane. Variația energiei unui sistem care interacționează a fost așadar tema experimentală majoră a tezei lui Constantin Miculescu, iar variabilitatea excesivă a rezultatelor altor experimente a generat interesul pentru identificarea constantei, cu sprijinul unei argumentații statistice necesare. Rezultatele experimentale medii și distribuția celor 31 de valori calculate de tânărul doctorand Constantin Miculescu sunt redată în figura 1 cu ajutorul E-Views software (Săvoiu, 2015):

Rezultatele / valorile experimentale ale celor 31 de experimente

Figura 1



În urma analizei valorilor tendinței centrale a rezultatelor experimentale se constată că acestea dețin o valoare modală identică practic cu aceea mediană ($Me = Mo = 426.71$) iar abaterea între medie și modul identic cu mediana ($Medie - Me = 0.04$) este aceea care constituie esența abaterii finale a *constantei Miculescu*. De altfel ar fi fost practic imposibil ca distribuția valorilor experimentale să fie una absolut simetrică, cauza fiind de natură fizică și strict legată de imposibilitatea existenței unui sistem perfect izolat ca mediu experimental. Datele rezultate exprimate ca abateri absolute (experimental deviations) surprind prin fenomenul de similitudine profundă a distribuțiilor, relevată atât de alura histogramelor specifice, cât și de curba Kernel a distribuțiilor rezultate, fie că este vorba de abaterea față de medie ($x - Medie$), fie că este analizată abaterea față de valoarea modală (Mode) sau *dominantă* ($n_i = 3$) devenită prin calitatea științifică a experimentului fizic identică în mod practic cu mediana ($x - Me = x - Mo$) (Săvoiu, 2007; 2012).

Valori (x) și abateri experimentale în raport cu media (x - Mean) și mediană (x- Median), precum și frecvența de apariție a acestor abateri la final (n_i)

Table no. 1

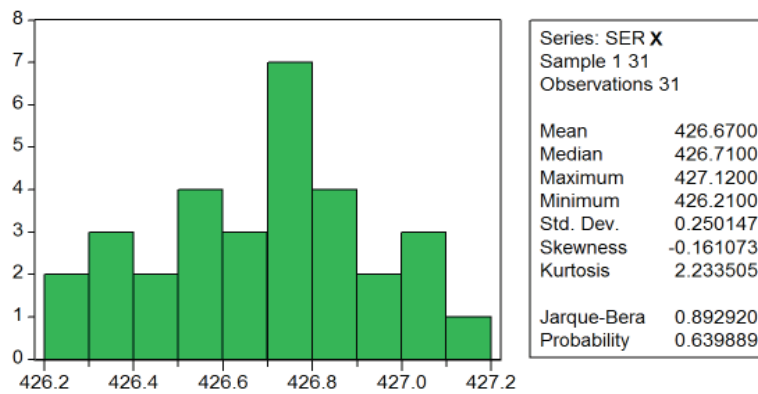
No.	x	x - Mean	x - Mean	n _i	(x-Median)	x-Median	n _i
32.	426.51	- 0.16	0.16	1	-0.20	0.20	1
33.	426.71	0.04	0.04	3	0.00	0.00	3
34.	426.60	- 0.07	0.07	2	-0.11	0.11	2
35.	426.74	0.07	0.07	-	0.03	0.03	1
36.	427.12	0.45	0.45	2	0.41	0.41	1
37.	426.76	0.09	0.09	1	0.05	0.05	1
38.	426.56	- 0.11	0.11	2	-0.15	0.15	2
39.	426.79	0.12	0.12	1	0.08	0.08	2
40.	426.52	- 0.15	0.15	2	-0.19	0.19	1
41.	426.69	0.02	0.02	1	-0.02	0.02	1
42.	427.00	0.33	0.33	1	0.29	0.29	1
43.	427.02	0.35	0.35	1	0.31	0.31	2
44.	426.71	0.04	0.04	-	0.00	0.00	-
45.	426.40	- 0.27	0.27	1	-0.31	0.31	-
46.	426.80	0.13	0.13	1	0.09	0.09	1
47.	426.31	- 0.36	0.36	2	-0.40	0.40	2
48.	426.21	- 0.46	0.46	1	-0.50	0.50	1
49.	426.33	- 0.34	0.34	1	-0.38	0.38	2
50.	427.09	0.42	0.42	1	0.38	0.38	-
51.	426.56	- 0.11	0.11	-	-0.15	0.15	-
52.	426.88	0.21	0.21	1	0.17	0.17	1
53.	426.71	0.04	0.04	-	0.00	0.00	-
54.	426.31	- 0.36	0.36	-	-0.40	0.40	-
55.	426.22	- 0.45	0.45	-	-0.49	0.49	1
56.	426.82	0.15	0.15	-	0.11	0.11	-
57.	426.90	0.23	0.23	1	0.01	0.01	2
58.	426.41	- 0.26	0.26	2	-0.30	0.30	1
59.	426.93	0.26	0.26	-	0.22	0.22	1
60.	426.72	0.05	0.05	1	0.01	0.01	-
61.	426.63	- 0.04	0.04	-	-0.08	0.08	-
62.	426.81	0.14	0.14	1	0.10	0.10	1
Total		0	6.28	31	-1.42	5.94	31

Sursa: Valorile experimentale x au fost preluate din lucrarea Marinescu, M., Fătulescu, Ș., (1967), Constantin Miculescu, Ed. Științifică București iar restul calculelor din tabel au fost realizate de către autor.

Pentru a asigura vizibilitatea maximă a distribuției valorilor experimentale confruntate cu abaterile se recurge inițial la o analiză statistică descriptivă susținută de histograme care, apelând la cele trei paliere approximate cu pachetul de programe E-Views de o manieră rezonabilă transmit o asemănare certă conform frecvențelor maxime și prin alura poligonală:

a) Valori reale sau experimentale (x)
 Statistica descriptivă și histograma valorilor reale sau experimentale (x)

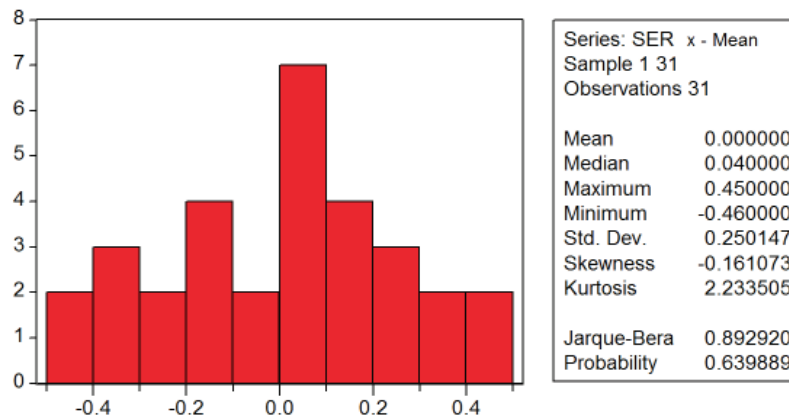
Figura 2



b) Abateri ale valorilor reale sau experimentale de la medie (x - Mean)

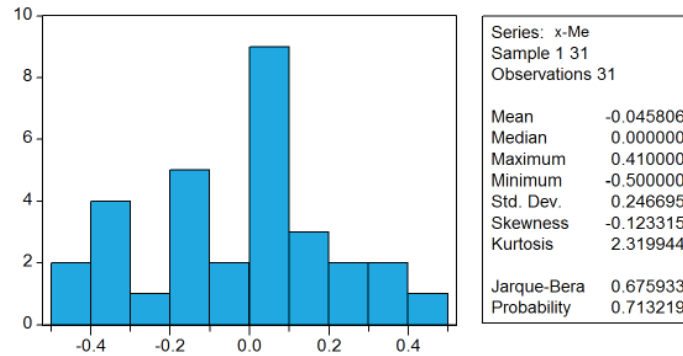
Statistica descriptivă și histograma abaterilor valorilor reale sau experimentale de la medie (x - Mean)

Figura 3



c) Abateri ale valorilor reale sau experimentale de la mediană ($x - Me$)
Statistica descriptivă și histograma abaterilor valorilor reale sau
experimentale de la mediană ($x - Me$)

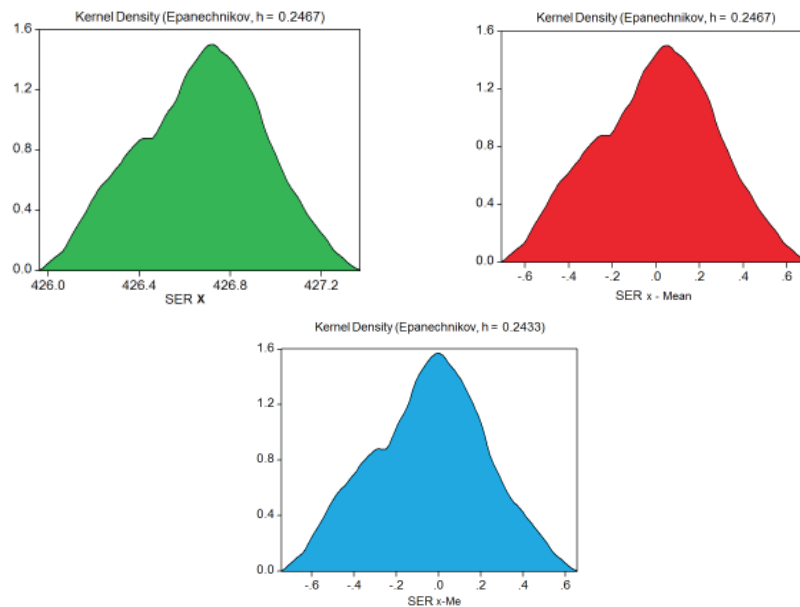
Figura 4



Se poate constata cu ajutorul aceluiași pachet de programe E-Views cu destul de mare ușurință o similitudine vizuală și între toate cele trei distribuții de tip Kernel descrise statistic anterior:

Distribuțiile de tip Kernel ale valorilor experimentale (SER x), ale
abaterilor valorilor experimentale de la medie (SER x-Mean) și ale
abaterilor valorilor experimentale de la mediană (SER x-Me)

Figura 5



Dincolo de asemănarea lor generală, care se apropie de similitudine completă, cele trei distribuții Kernel se remarcă prin alura specifică a distribuției normale sau de tipul *clopotului gaussian* cu un contur ușor oscilant în cadrul valorilor mai mici, care alternează vizibil ca frecvențe, semnal anticipat de statistica descriptivă printr-o ușoară asimetrie negativă (skewness cuprins între -0.161 și -0.123).

Această analiză statistică descriptivă și grafică a fost cu siguranță realizată de către tânărul doctorand care a anticipat nu numai precizia experimentelor sale, dar mai ales abaterea finală conform declarației sale din finalul tezei publicate (Marinescu, 1892):

“Am obținut în acest fel pentru echivalentul mecanic al caloriei numărul de $J = 426.70$ în care consider exactă cifra unităților, iar cifra zecimilor 0.7 fiind probabilă.”

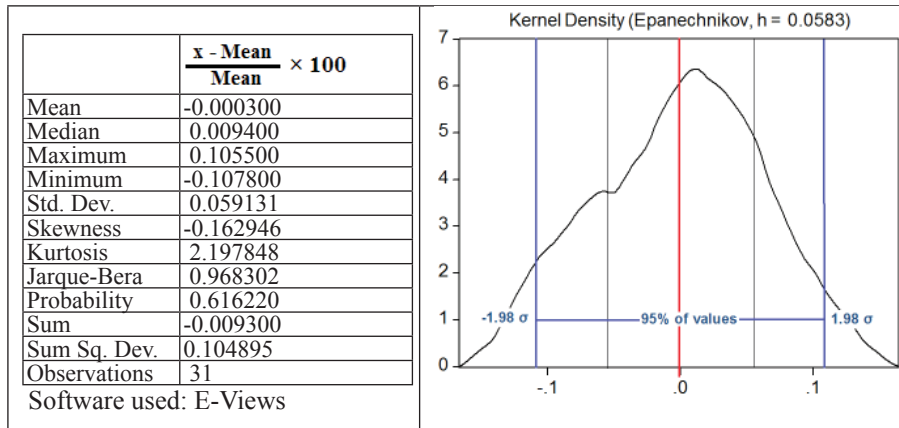
Această afirmație este dovada unei cunoașteri profunde a statisticii experimentale de către tânărul fizician doctorand Constantin Miculescu, acum mai bine de 125 de ani în plină perioadă experimentală și de redactare a tezei sale. Argumentația ce urmează probează soliditatea cunoștințelor de statistică experimentală ale

Statistică experimentală valorifică determinările finale cu ajutorul unui concept denumit *indicele rezultatului unui experiment*, pentru a defini *probabilitatea* specifică acestei modalități concrete de manifestare a cercetării științifice. Astfel, dacă se evaluează distinct și se notează cu r indicele unui anumit rezultat al unui experiment pornind de la premisa că există printre N sisteme din ansamblul statistic (conceptualizat ca mulțime compusă dintr-un număr de sisteme similare prin prisma rezultatelor atunci se determină probabilitatea de apariție a rezultatului r ca fracțiune prin relația următoare (Reif, 1983):

$$Pr = Nr : N \quad (\text{unde } N \rightarrow \infty) \quad (2)$$

În măsura în care N devine tot mai mare reluarea experimentului per ansamblu statistic este de așteptat să conducă la același raport Pr cu o reproductibilitate din ce în ce mai mare (Reif, 1983).

Valorificând abaterea calculată în raport de media valorilor experimentale de 426.67 se demonstrează justetea afirmației lui Constantin Miculescu, un remarcabil cunoscător al statisticii experimentale și o probitate științifică deosebită care l-au transformat în fapt acționând împreună în fondatorul școlii de fizică experimentală de la noi. Datele de mai jos subliniază că media abaterilor este de 0.000003 sau în procente de 0.0003% iar abaterea negativă maximă este de -0.1078% iar cea pozitivă maximă de 0.1055%.



Valorile $\pm 1.98 \sigma$ sunt limitele între care se regăesc în plan teoretic circa 95 % dintre rezultatele descrise conform distribuției normale a probabilităților de realizare experimentală concretizate în $\pm 0.117079 \%$. Abaterile pozitive și negative maxime de la media experimentelor generează un interval mai mic inclus practic în cel descris de limitele anterioare. Intervalul real al abaterilor maxime al valorilor indicilor rezultatelor experimentului $[-0.1078 \%; 0.1055\%]$ este complet inclus în limitele intervalului teoretic descris prin $[-0.117079\%; 0.117079\%]$. La o abatere medie de 0.0003% respectiv cu un indice $r = 0,9997$ rezultatul experimentului validează valoarea 426.70 atât la nivelul unităților cât și la acela al zecimilor. Dar cum rigoarea fizicianului experimentalist se împletea perfect cu cunoașterea statisticii experimentale a cercetătorului în persoana doctorandului onestitatea științifică nu putea decât să îl oblige pe Constantin Miculescu să decidă doar în raport cu abaterea maximă experimentală. În concluzie, la o abatere maximă de 0.1078% respectiv cu un indice r al experimentului dat și o probabilitate $Pr = 0,998822$ rezultatul experimentului validează valoarea 426.70 numai pentru cifra unităților, iar cifra zecimilor devine cu certitudine una probabilă, adică definită pentru un anumit prag de semnificație sau altfel spus este expusă definitiv gândirii statistice probabilistice prin incertitudinea valorii sale.

Experimentul științific deține gradul de onestitate maxim și prin faptul că tânărul doctorand nu a apelat la valoarea mediană. Mediana este cunoscută în primul rând prin impactul de excepție al abaterii sale de la valorile absolute individuale, abatere care însumată configurează permanent un minim:

$$\sum_{i=1}^n |x_i - \text{Median}| = \text{minim} \quad (3)$$

Apelul la valoarea mediană ar fi certificat și prima zecimală în mod fals și deși seria rezultatelor este caracterizată de egalitatea medianei și modalei sau dominantei, tânărul doctorand a preferat onest să lucreze și să analizeze constanta rezultată pornind de la valoarea experimentală medie și nicidecum mediană.

CONCLUZII

După susținerea tezei, Constantin Miculescu a fost numit profesor suplinitor la Facultatea de Științe a Universității București (1891), chiar la catedra rămasă vacantă după decesul mentorului lui Emanoil Bacaloglu, apoi profesor titular de fizică moleculară, acustică și optică (1894), post pe care l-a ocupat până la moartea sa în anul 1937. A predat datorită calității sale de fizician cu vaste și profunde cunoștințe de statistică experimentală și ca profesor de fizică moleculară la Facultatea de Medicină din București (1895-1916).

În anul 1910, printr-o metodă acustică, Miculescu a determinat coeficientul de elasticitate al corpurilor. Între anii 1923-1928, prof. dr. Constantin Miculescu a fost decan al Facultății de Științe din București. Recunoașterea meritelor sale de fizician și statistician experimentalist de talie internațională este dovedită prin alegerea sa în anul 1904 ca membru al Consiliului de conducere a Societății franceze de fizică și apoi în anul 1909 ca membru al Comitetului internațional însărcinat cu *culegerea și publicarea constantelor* din domeniul chimiei, fizicii și tehnologiei, iar în final și ca membru de onoare al Academiei de Științe din România începând cu 21 decembrie 1935.

Statistica experimentală la sfârșit de secol XIX era cu certitudine dezvoltată la un nivel internațional, iar personalitatea lui Constantin Miculescu certifică acest fapt așa cum am încercat să demonstrez în acest articol și urma să devină o știință de o mare utilitate în universul experimentelor cercetării fizice în școala academică românească ...

BIBLIOGRAFIE

1. Marinescu, C., (1892). *Sur la détermination de l'équivalent mécanique de la calorie* [Echivalentul mecanic al caloriei], *Journal de Physique*, Paris.
2. Becquerel, H., (1897). *Cours de Physique*, Gauthier – Villars, Paris.
3. Darmois, (1947). *Thermodynamique et Radiatione*, Ed. Enseignement, Paris.
4. Marinescu, M., Fătuțescu, Ș., (1967), *Constantin Miculescu*, Editura Științifică București.
5. Reif, F., (1983). *Fizică statistică*, vol V, Cursul de fizică, Berkley 1965, Editura didactică și pedagogică, București.
6. Săvoiu, G. (2007), *Statistica un mod științific de gândire*, Editura Universitară, București.
7. Săvoiu, G. (2012), *Statistică generală cu aplicații în contabilitate*, Editura Universitară, București.
8. Săvoiu, G. (2015), *Statistical Thinking*, Bucharest, University Publishing House.
9. Yulle, G., Kendall, M., (1968), *An Introduction to the Theory of Statistics*. 14th ed., rev. & enl. London, Charles Griffin.
10. *** Constantin Miculescu, (2015). https://ro.wikipedia.org/wiki/Constantin_Miculescu

Anexa nr. 1

No	x	x - Mean	$\frac{(x - \text{Mean})}{\text{Mean}}$	$\frac{x - \text{Mean}}{\text{Mean}} \times 100$
1	426.51	- 0.16	-0.000375	-0.0375
2	426.71	0.04	0.000094	0.0094
3	426.60	- 0.07	-0.000174	-0.0174
4	426.74	0.07	0.000174	0.0174
5	427.12	0.45	0.001055	0.1055
6	426.76	0.09	0.000221	0.0221
7	426.56	- 0.11	-0.000268	-0.0268
8	426.79	0.12	0.000281	0.0281
9	426.52	- 0.15	-0.000353	-0.0353
10	426.69	0.02	0.000057	0.0057
11	427.00	0.33	0.000783	0.0783
12	427.02	0.35	0.000820	0.0820
13	426.71	0.04	0.000094	0.0094
14	426.40	- 0.27	-0.000733	-0.0733
15	426.80	0.13	0.000305	0.0305
16	426.31	- 0.36	-0.000844	-0.0844
17	426.21	- 0.46	-0.001078	-0.1078
18	426.33	- 0.34	-0.000797	-0.0797
19	427.09	0.42	0.000984	0.0984
20	426.56	- 0.11	-0.000268	-0.0268
21	426.88	0.21	0.000492	0.0492
22	426.71	0.04	0.000094	0.0094
23	426.31	- 0.36	-0.000845	-0.0845
24	426.22	- 0.45	-0.001055	-0.1055
25	426.82	0.15	0.000353	0.0353
26	426.90	0.23	0.000539	0.0539
27	426.41	- 0.26	-0.000609	-0.0609
28	426.93	0.26	0.000609	0.0609
29	426.72	0.05	0.000117	0.0117
30	426.63	- 0.04	-0.000094	-0.0094
31	426.81	0.14	0.000328	0.0328