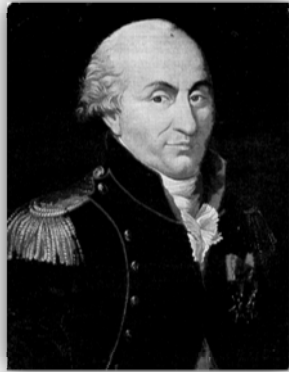


CHARLES AUGUSTIN COULOMB (1736-1805)

Conf. univ. dr. Mihai MARINCIUC
UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI



Ilustrul savant și inginer francez Ch.A.Coulomb s-a născut la 14 iunie 1736 în Angoulême, un orașel din sud-vestul Franței. Tatăl său, Henry Coulomb, era funcționar guvernamental și la scurt timp după naștere Charles împreună cu familia au fost transferați cu domiciliul la Paris. Mama sa dorea ca fiul ei să devină medic. În acest scop ea și-a dat fiul la învățătură la una din cele mai prestigioase școli ale timpului său – Colegiul celor patru națiuni, cunoscut mai mult sub numele de Colegiul Mazarini, deschis în conformitate cu testamentul vestitului cardinal. În colegiu, matematica se studia la un nivel foarte înalt. Charles s-a pasionat de matematică și frecventa, în paralel, orele de matematică de la colegiul Regal din Paris.

După absolvirea Colegiului, Charles a plecat la Montpellier unde era cu serviciul tatăl său. Aici a participat la activitățile Societății științifice din localitate, unde a prezentat trei memorii la matematică și tot 3 la astronomie. În ultimele a expus rezultatele observărilor proprii asupra unei comete și a unei eclipse de Lună.

Începând cu a.1760, Coulomb își continuă studiile la Școala de Geniu din Mezières, considerată la timpul respectiv una din cele mai bune școli superioare care pregătea ingineri militari. Ca profesor de fizică l-a avut pe Jean Antoine Nollé (1700-1770), primul care a observat difuziunea în lichide și a inventat electroscopul. După absolvire a activat ca inginer militar în diferite orașe, atât în Franța continentală, cât și pe insula Martinica – o colonie a Franței – unde pe parcursul a 8 ani a condus construirea fortăreței Bourbon destinată apărării insulei.

Paralel cu activitatea pe tărâm militar, Coulomb efectua cercetări științifice. În prima sa lucrare *”Cu privire la aplicarea regulilor maximelor și minimelor în unele probleme de statică cu aplicare în arhitectură”*, Coulomb a expus rezultatele cercetărilor experimentale și teoretice legate cu activitatea de zi cu zi. Ele reflectă probleme din domeniul rezistenței materialelor, în particular, a teoriei încovoierii barelor, a calculelor arcașilor ș.a. Lucrarea a fost prezentată la ședințele Academiei Franceze din martie și aprilie 1773, unde a fost înalt apreciată.

Academia organiza periodic concursuri consacrate problemelor actuale ale științei (la acea vreme). O așa problemă era considerată perfecționarea construcției busolei magnetice în scopul studierii detaliate a câmpului magnetic terestru, al măsurării unghiurilor de deviație a acului magnetic (dintre meridianul magnetic și cel geografic). În 1777, Coulomb a devenit învingător împreună cu suedezul Wan Swinden. Coulomb a confecționat ace magnetice de forme specifice și a propus o metodă de magnetizare mai intensă a acestora: mijlocul lor era atins simultan de capetele a două bare-magneți cu polii de nume diferite, după ce acestea erau deplasate spre capetele acelor. Procedeu era repetat de câteva ori. Pentru a micșora frecarea în axul de rotație al acului magnetic, Coulomb a propus suspendarea acestuia de un fir de mătase (*fig. 1*), cercetând în prealabil proprietățile diferitelor fire pentru a-l alege pe cel mai potrivit.

Memoriul lui Coulomb – *„Teoria mecanismelor simple”* – a fost menționat cu premiul întâi al Academiei din Paris pentru anul 1781. Partea centrală a memoriului era consacrată

cercetării frecării exterioare, frecării dintre suprafețele corpurilor solide.

Fenomenul era cunoscut încă în antichitate, dar primele rezultate științifice referitoare la frecare au fost obținute abia la finele secolului XVII de către savantul francez Guillaume Amontons (1663-1705), cunoscut și prin perfecționarea unor instrumente fizice.

Dacă Amontons s-a limitat la cercetarea frecării statice, Coulomb a studiat de asemenea frecarea la alunecare și la rostogolire. A stabilit că forța de frecare la alunecare depinde slab de viteza relativă a corpurilor, are valoare ceva mai mică decât valoarea maximă a forței de frecare statică, însă deosebirea dintre ele este mică și acestea se consideră aproximativ egale. S-a constatat că coeficientul de frecare la alunecare depinde de natura corpurilor aflate în contact și de calitatea prelucrării suprafețelor lor. Toate aceste rezultate referitoare la frecarea dintre corpurile solide sînt cunoscute ca *legile Amontons – Coulomb*.

Coulomb a admis că frecarea dintre corpurile solide se datorează faptului că suprafețele de contact au asperități care se agață unele de altele la alunecarea corpurilor. Astfel a fost elaborat tabloul mecanic al frecării.

Coulomb a revenit la problema frecării în 1790 cînd a studiat frecarea la rostogolire. A stabilit că forța de frecare la rostogolire este considerabil mai mică decât cea la alunecare, iar valoarea ei este direct proporțională cu reacțiunea normală N și invers proporțională cu raza r a corpului ce se rostogolește: $F_r = \lambda N/r$, unde λ este un coeficient de proporționalitate ce se exprimă în unități de lungime.

Rezultatele științifice ale lui Coulomb au jucat un rol decisiv la alegerea sa ca membru al Academiei din Paris la 12 decembrie 1781, pentru domeniul mecanicii. Înainte de alegere el s-a transferat cu serviciul de inginer militar la Paris. Ca membru al Academiei avea obligațiunea de a participa anual pe parcursul a cel puțin 5 luni la activitățile curente ale ei. Era solicitat în calitate de consultant la ridicarea edificiilor militare, avea și alte misiuni, de exemplu, era responsabil de alimentarea cu apă a palatelor regale, de funcționarea havuzurilor din parcuri ș.a.

În 1780, astronomul Jacques Dominique Cassini (1748-1845) de la Observatorul din Paris a încercat să folosească busola magnetică a lui Coulomb, și a constatat anumite neajunsuri. Poziția acului magnetic era influențată de vibrațiile punctului de suspensie a firului ce susținea acul, de curenții de aer din încăperea. De asemenea, la momentul în care cercetătorul se apleca spre busolă pentru a citi indicația vârfului acului magnetic, acesta devia de la poziția sa. Inițial s-a crezut că deviația era condiționată de curenți de aer provocați de mișcările cercetătorului. Dispozitivul a fost introdus într-o cutie cu pereți transparenți, dar acul magnetic rămânea influențat de mișcările cercetătorului.

Coulomb a stabilit cauza acestei comportări a acului magnetic. Corpul cercetătorului conține o anumită cantitate de electricitate statică. La apropierea lui de acul suspendat de un fir izolator de mătase, acesta se electrizează prin influență. Ca rezultat, el este atras spre cercetător și deviază de la poziția în care se afla atunci cînd cercetătorul era departe de busolă.

Pentru a înlătura electrizarea prin influență a acului, firul izolator de mătase trebuia înlocuit cu un fir metalic, conductor de electricitate. Astfel, a apărut necesitatea studierii deformației de torsiune (de răsucire) a firelor metalice. Coulomb a folosit în acest scop o metodă originală și eficientă – metoda oscilațiilor de torsiune. Un fir metalic cilindric vertical avea capătul superior imobil, iar cel inferior avea fixat un corp cilindric. A admis că la unghiuri de răsucire mici momentul forțelor elastice M din fir este direct proporțional cu

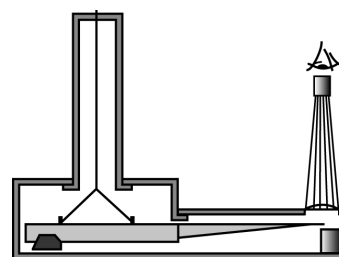


Fig. 1

unghiul de răsucire φ . Prin urmare, oscilațiile mici de torsiune sunt armonice, ceea ce s-a confirmat experimental. A cercetat oscilațiile de torsiune ale unuia și aceluiași corp suspendat de fire din același metal și de același diametru D , dar de lungimi L diferite. Într-o altă serie de experimente, a menținut lungimea L aceeași, dar lua fire metalice de diametre D diferite.

A calculat teoretic perioada oscilațiilor de torsiune. În baza formulei respective și a datelor experimentale pentru perioada oscilațiilor a stabilit că momentul forțelor elastice este direct proporțional cu puterea a patra a diametrului firului și invers proporțională cu lungimea lui $M = BD^4\varphi/L$, unde B este un coeficient de proporționalitate ce caracterizează metalul din care este confecționat firul.

Menționăm precizia înaltă a măsurătorilor efectuate de către Coulomb. De exemplu, pentru fier el a obținut valoarea $B = 7,6 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$, cea modernă fiind $B = (7,5 \div 8) \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$.

În baza cercetărilor deformațiilor de torsiune ale firelor metalice, Coulomb a elaborat **balanța de torsiune** – un dispozitiv sensibil pentru măsurarea forțelor mici, a forțelor electrice și magnetice, iar cercetarea oscilațiilor de torsiune ale cilindrului introdus în lichid permite măsurarea forțelor de frecare interioară. Rezultatele acestor investigații au fost expuse în lucrarea sa „Cercetări teoretice și experimentale ale forței de torsiune și a elasticității firelor metalice” (1784).

Primul memoriu al său din anul următor (1785) este intitulat „Construirea și aplicarea balanței electrice care utilizează proprietatea firelor metalice de a exercita o forță de torsiune, proporțională cu unghiul de torsiune”. Schema balanței și a unor detalii ale ei este prezentată în figura 2. Partea principală a balanței era un fir subțire de argint cu diametrul de $40 \mu\text{m}$ și lungimea de $75,8 \text{ cm}$. Firul se afla în interiorul a doi cilindri: l și $ABCD$ (fig. 2, a). Capătul superior al lui era fixat în montura q (fig. 2, b) unită cu capul rotativ b dotat cu acul indicator a . La capătul superior al tubului l era fixat tubul D pe care era trasată scara gradată ab . La capătul inferior al firului era fixată o tijă subțire orizontală izolatoare aCg cu lungimea de $21,7 \text{ cm}$ (fig. 2, c). La un capăt al tijei se afla o bilă mică de soc a cu diametrul de la $4,5 \text{ mm}$ până la 6 mm , iar la celălalt – un disc de hârtie g , care echilibra bila de soc și, în același timp, amortiza oscilațiile torsionale. Cilindrul $ABCD$ cu înălțimea și diametrul egale cu câte $32,5 \text{ cm}$ (fig. 2, a) avea, la nivelul bilei de soc scara gradată zQ . Prin orificiul m era introdusă o vergea izolatoare Φ , ce avea la capătul inferior al său bila de soc t , de diametru egal cu cel al bilei a de la capătul tijei orizontale.

Balanța permitea determinarea forțelor cu o precizie foarte mare. Coulomb a remarcat că pentru a menține firul răsucit cu 360° trebuie aplicată la capătul tijei, perpendicular pe ea, o forță orizontală de circa $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ N}$. Dacă se admite că eroarea determinării unghiului de torsiune este de 3° , eroarea respectivă la determinarea forței este de circa $1,3 \cdot 10^{-8} \text{ N}$!

În același memoriu, Coulomb a expus rezultatele cercetărilor forței de interacțiune dintre sarcinile electrice de același semn. Capul rotativ b era situat în poziția în care bilele neîncărcate a și t abia se atingeau una de alta. Bila a se afla în dreptul indicației 0 de pe

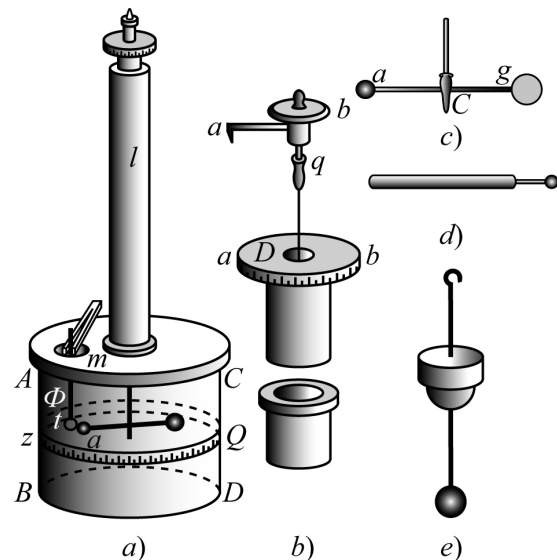


Fig. 2

scara gradată zQ , iar acul indicator a – în dreptul indicației 0 de pe scara gradată ab . Unghiul de torsiune al firului de argint, în această situație, este egal cu zero.

O a treia bilă fixată la capătul unui mâner izolator (*fig. 2, d*), era electrizată și introdusă prin orificiul m astfel ca să se atingă simultan cu bilele a și t . Acestea se încăreau cu sarcini electrice de același semn și se respingeau. Rotind capul b se varia distanța dintre bilele electrizate, distanțe ce se evaluau după indicațiile de pe scara zQ . Unghiul de torsiune al firului, deci și forța de respingere electrică, se determinau folosind indicațiile de pe ambele scări. Repetând experimentul pentru valori diferite ale distanței dintre bilele electrizate, Coulomb a stabilit că **forța de respingere electrică dintre bilele mici, încărcate cu sarcini electrice de aceeași natură (de același semn), este invers proporțională cu pătratul distanței dintre centrele lor.**

În al doilea memoriu, din același an, Coulomb a indicat dificultățile care se întâlnesc la utilizarea instalației descrise mai sus pentru cercetarea forțelor de atracție electrică – nu se putea evita atingerea bilelor electrizate cu sarcini de semne opuse. A folosit instalația reprezentată în *figura 3*. Un ac izolator lcg , suspendat la mijloc de un fir subțire de mătase cs , avea la capătul l un disc mic din hârtie aurită, iar la capătul opus – o contragreutate. Discul se afla la nivelul centrului unei sfere G din cupru, distanța dintre centrul sferei și disc putea fi modificată.

Discul și sfera erau electrizate cu sarcini de semne opuse. Coulomb cerceta oscilațiile torsionale ale acului orizontal. În acest timp, discul oscila în câmpul electric al sferei. Considerând că sarcina electrică a sferei este concentrată în centrul ei și ținând seama că dimensiunile discului erau mult mai mici decât distanța sa de la centrul sferei, Coulomb admitea că forța electrică de atracție ce acționează asupra discului rămâne constantă la oscilațiile mici ale acestuia. Astfel oscilațiile mici ale acului orizontal erau similare oscilațiilor unui pendul gravitațional. La modificarea distanței dintre disc și centrul sferei, forța de atracție varia. Determinând perioadele de oscilație torsionale ale acului orizontal în funcție de distanța dintre disc și centrul sferei electrizate, se puteau trage concluzii referitoare la valoarea forței de atracție dintre sarcinile electrice de semne opuse. S-a constatat că această forță variază invers proporțional cu pătratul distanței dintre ele.

Coulomb a folosit metoda oscilațiilor și la cercetarea forței de respingere dintre sarcinile electrice de același semn, menționând, însă, avantajele utilizării balanței de torsiune (*fig. 2*).

Astfel, Coulomb a stabilit că forța de interacțiune dintre două corpuri mici electrizate (cu sarcini de același semn sau de semne opuse) este invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele.

Coulomb considera drept evident faptul că forța de interacțiune electrică este direct proporțională cu produsul „maselor electrice” (adică a sarcinilor electrice). În unul din memoriile ulterioare, era expusă „metoda divizării sarcinii”, care permitea stabilirea dependenței forței electrice de valorile sarcinilor care interacționează. Atingând una din bilele electrizate (a sau t , *fig. 2, a*) cu una identică neelectrizată, sarcina celei electrizate se divizează în două sarcini egale. Cercetând din nou interacțiunea bilelor a și t s-a constatat că forța de interacțiune s-a micșorat tot de două ori.

În urma acestor cercetări a fost stabilită legea interacțiunii corpurilor mici electrizate, lege ce a fost numită **legea lui Coulomb** în onoarea descoperitorului ei. În notații moderne ea

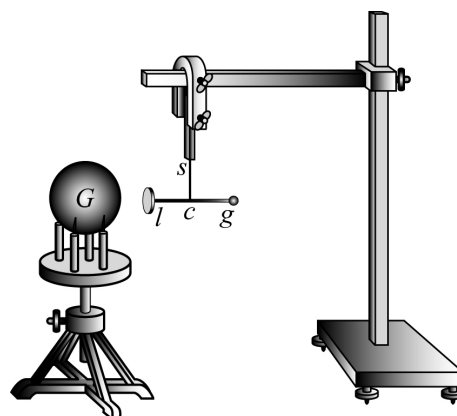


Fig. 3

are forma $F = k_e |q_1 q_2| / R^2$, unde q_1 și q_2 sunt valorile sarcinilor punctiforme ce interacționează între ele, R - distanța dintre sarcini, k_e - un coeficient de proporționalitate și F - valoarea forței de interacțiune electrică.

Balanța de torsiune a fost utilizată și în alte experimente ale lui Coulomb.

Încă în primele sale experimente, el a constatat că sarcina electrică a bilei încărcate a balanței se micșorează cu timpul. În cel de-al treilea memoriu, elaborat în același an 1785, Coulomb a stabilit că sarcina electrică a corpului încărcat se micșorează în timp după legea exponențială. El a evidențiat două cauze ale acestui fenomen: ciocnirile cu particule din aer care preiau o porțiune din sarcina corpului încărcat și faptul că izolatoarele nu sînt ideale.

Pentru a cerceta distribuția sarcinii electrice pe suprafața conductoarelor, a folosit „plăcuța de probă” – un mic disc metalic sau din hârtie argintată fixat la capătul unui mâner izolator. Atingea discul neîncărcat cu porțiuni diferite ale suprafeței conductorului, apoi evalua sarcina preluată de disc folosind balanța de torsiune. A stabilit că *distribuția sarcinii electrice pe suprafața conductorului depinde de forma acestuia și nu depinde de natura metalului*.

Un memoriu special a fost consacrat studierii magnetismului (1789). Instalația respectivă este prezentată în *figura 4*. Coulomb era conștient de faptul că măsurătorile, în acest caz, erau mai dificile decât în cazul sarcinilor electrice. Pe de o parte, trebuia să se țină seama de acțiunea câmpului magnetic terestru, pe de altă parte nu erau cunoscute pozițiile polilor magnetici. De exemplu, el admitea că în cazul unui magnet cu lungimea de 68 cm, aceștia se află la distanțe de la 5,4 cm până la 8,1 cm de la capetele lui. În această presupunere a stabilit că forțele de acțiune magnetică sînt invers proporționale cu pătratul distanței dintre poli.

Încă în memoriul său din 1784, în care este stabilită legea deformațiilor de torsiune, Coulomb a indicat posibilitatea folosirii oscilațiilor torsionale pentru studierea forțelor de frecare interioară. El a publicat rezultatele cercetărilor respective în 1800. La capătul inferior al unui fir elastic era fixat un cilindru. Acesta era introdus în lichid. Erau studiate oscilațiile torsionale ale cilindrului. Modificând lungimea și diametrul firului de suspensie, se modifica în modul respectiv perioada oscilațiilor, deci și viteza unghiulară a cilindrului.

În urma unor experimente multiple și prelucrării datelor acestora au fost obținute două rezultate importante: 1) perioada oscilațiilor nu este influențată de calitatea prelucrării suprafeței cilindrului introdus în lichid, ceea ce demonstrează că suprafața acestuia se acoperă cu un strat de lichid care se mișcă împreună cu cilindrul, iar oscilațiile lui sînt influențate de forțele de frecare dintre straturile lichidului; 2) forțele de frecare internă sînt proporționale cu viteza relativă la valori mici ale acesteia și proporționale cu pătratul vitezei la valori mari ale ei. Astfel a fost pus capăt disputei din perioada precedentă acestui memoriu al lui Coulomb, privind dependența de viteză a forței de frecare interioară, când unii savanți afirmau că forța în cauză este direct proporțională cu viteza relativă, iar alții – cu pătratul vitezei. S-au demonstrat condițiile de aplicabilitate a acestor relații.

Conchidem, în mod natural, că Coulomb a realizat multiple cercetări științifice efectuând experimente minuțioase în care era folosită balanța de torsiune, combinată în unele cazuri cu metoda oscilațiilor torsionale.

Ultimul memoriu al lui Coulomb din domeniul electricității și magnetismului a fost depus la Academie în 1789 – anul revoluției franceze care a schimbat în întregime viața societății. Coulomb s-a retras din serviciul militar și și-a concentrat activitatea sa în cadrul

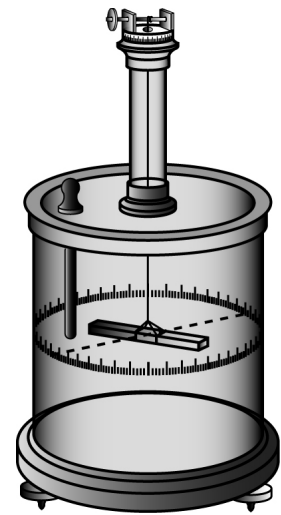


Fig. 4

Academiei, unde era membru al comisiei ce trebuia să elaboreze un sistem nou de măsuri și greutate. Dar în 1793 Academia a fost închisă, Coulomb a plecat din Paris la moșia sa pentru a supraviețui perioada instabilităților politice. Dar și aici a efectuat cercetări științifice, a realizat două lucrări importante: una din ele era consacrată biomecanicii omului, a doua – circulației sevei în copaci.

Numai simpla enumerare a problemelor care s-au aflat în centrul atenției lui Coulomb ilustrează metoda sa de cercetare științifică. Temele alese erau în strânsă legătură cu activitatea practică, la elaborarea lor erau utilizate pe larg experimentele pentru care a construit instalațiile respective.

În 1795 a fost fondat Institutul Franței, care a înlocuit Academia existentă până în 1793. Coulomb a fost numit membru al unei noi comisii de măsuri și greutate, unde trebuia să se ocupe de elaborarea unităților de lungime și de masă. Cu această ocazie a revenit la Paris.

Coulomb a fost, de asemenea, inclus într-o comisie ce avea ca scop elaborarea unui nou sistem de învățământ în Franța. Sistemul prevedea fondarea unei rețele de licee ca instituții privilegiate de învățământ de stat, care în viziunea lui Napoleon constituiau baza sistemului. Membrii comisiei verificau toate aspectele activității acestuia: vizitau liceele, asistau la orele de clasă și la examene, apreciau calificarea cadrelor didactice, controlau curățenia în sălile de clasă și bucătării etc. Coulomb călătorea mult prin diferite orașe ale Franței, ceea ce îi solicita eforturi fizice mari. În vara lui 1806 s-a îmbolnăvit și la 23 august a aceluiași an s-a stins din viață.

Meritele științifice ale lui Coulomb au fost apreciate la nivelul cuvenit de către posteritate. Legea interacțiunii sarcinilor electrice punctiforme poartă numele de *legea lui Coulomb*, legile frecării dintre corpurile solide sînt numite *legile lui Amontons – Coulomb*, în fizică s-au înrădăcinat termenii *interacțiune coulombiană*, *câmp coulombian*, *forțe coulombiene*, *potențial coulombian*. În 1881, la Congresul mondial al electricienilor care s-a desfășurat la Paris a fost luată decizia unanimă de a acorda numele lui Coulomb unității de sarcină electrică. Astfel, Coulomb face parte din pleiada de fizicieni al căror nume îl poartă legi și unități ale mărimilor fizice.

BIBLIOGRAFIE

1. J.-C. Boudenot. Histoire de la Physique et des Physiciens, Ellipses, Paris, 2001.
2. G. Gamow. Biografia fizicii. Editura științifică, București, 1971.
3. A. Rousset, J. Six, Des Physiciens de A a Z, Ellipses, Paris, 2000.
4. Г. М. Голин, С. П. Филонович. Классики физической науки. Высшая школа, Москва, 1989.
5. Я. Г. Дорфман. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. Наука, Москва, 1974.
6. П. Лакур, Я.Аппель. Историческая физика, т.2, Матезис, Одесса, 1908.
7. М. Льюци. История физики. Мир, Москва, 1970.
8. С. П. Филонович. Шарль Кулон. Просвещение, Москва, 1988.

Prezentat la redacție - 13 februarie 2008