
The Antiphysical Review

Founded and Edited by M. Apostol

242 (2023)

ISSN 1453-4436

Doua mari probleme. II. The turbulent millenium problem

M. Apostol

Department of Theoretical Physics, Institute of Atomic Physics,
Magurele-Bucharest MG-6, POBox MG-35, Romania
email: apoma@theory.nipne.ro

Sau the millenium turbulent problem.

Pe la 1757 Euler a bagat de seama ca fluidele sint continue; si curgerea lor este continua. Ca urmare a renuntat sa urmareasca pozitia unei particule de fluid in timp, cum facea Lagrange, si a hotarit ca pozitia este o variabila; iar pentru miscarea particulelor de fluid este suficient sa stim viteza ca functie de timp si pozitie. Asa s-a nascut fizica mediilor continue si ecuatiei lui Euler. Oricit ar parea o aplicatie a fizicii lui Newton, teoria fluidelor este hotarit distincta, prin contiguitatea particulelor de fluid.

Imaginea asta euleriana pentru fluide nu e chiar simpla. Pentru ca in cimp gravitational apar unde de fluid, ca si in sunet, cind se misca si particula si unda; si pozitia particulei este functie necunoscuta. Dar se poate atasa la pozitia de echilibru, ca "pozitie de pozitie", si atunci conceptia lui Euler e salvata. Oricum, pe atunci oamenii nu-si puneau problema sunetului, a undelor; ba mai mult, fluidele erau privite ca incompresibile si fara frecare, adica ideale; presiunea fiind numai presiunea creata de forte externe. Mai mult, ecuatiei lui Euler are un termen neliniar, provenit din inertia particulelor de fluid, care e destul de deranjant. Dar curgerea fluidelor se facea atunci la viteze mici, cu variatii spatiale mici, si atunci acest termen era lasat la o parte. Viata era mult mai simpla pe acele vremuri.

Dar teoria, ca orice teorie, are surprize. Care n-au zabovit sa iasa la iveala. Un fluid ideal in miscare uniforma nu intimpina rezistenta, conform teoriei lui Euler; desigur, pentru ca nu are frecare. Ceea ce e contrar observatiilor experimentale. Asta se cheama paradoxul lui d'Alembert. Mai mult, Helmholtz a aratat ca ecuatiei lui Euler are solutii ce se rotesc, si aceste rotiri sint permanente. Aceste vortexuri ar fi cicloanele atmosferice, de exemplu. Dar un fluid ideal nu poate fi pus in miscare de rotatie, evident pentru ca nu are frecare; ca urmare virtejurile pe care le vedem in atmosfera n-ar putea exista, dupa Euler. Ceva era putred in aceasta Danemarca. Mai mult, chiar daca frecarea exista si are efecte, ea poate sa nu apara explicit in solutii.

Evident, trebuia introdusa frecarea. Ceea ce s-a facut de catre Navier si Stokes, pe la 1840 (dupa aproape o suta de ani!). Ecuatiei lui Euler a devenit ecuatiei Navier-Stokes. Dar frecarea naste caldura, caldura modifica presiunea, presiunea modifica densitatea, masa trebuie sa se conserve. Asa ca ne-am mai pricopsit cu inca doua ecuatii, una de continuitate, adica de conservarea masei, alta de generare si transfer de caldura. Aceste ecuatii sint neliniare, dar, oricum, bine ca avem tot atatea ecuatii cite necunoscute; problema pare determinata.

Ecuatiile Navier-Stokes au fost rezolvate exact in citeva cazuri, si satisfacator aproximativ in, practic, toate cazurile de interes. S-a vazut ca variatiile spatiale ale vitezei trebuie sa fie mai mici decit viteza sunetului, altfel avem unde de soc, si "sunet supersonic". Dar a aparut o curiozitate. Mai intii, variatii mari ale parametrilor externi, cum ar fi temperatura, provoaca instabilitati ale

solutiilor, cum e convectia. Dar, mai ales, in practica, ori de cite ori viteza de curgere variaza abrupt in contact cu solidele, curgerea devine eratica. Intr-adevar, termenul de frecare din ecuatie Navier-Stokes produce variatii mari ale vitezei pe distante scurte, daca viscozitatea e mica; in acest caz termenul nelinier din ecuatie Navier-Stokes nu mai poate fi neglijat. Miscarea astfel produsa este foarte neregulata, dezordonata, cu discontinuitati, cu instabilitati, cu intermitente si fluctuatii; virtejuri mici, instabile, care apar si dispar continuu. Solutiile ecuatiei Navier-Stokes, chiar si cele exacte, devin, sau ar trebui sa devina, instabile in acest caz. Acesta este fenomenul de turbulenta.

De atunci lumea fluidistilor s-a impartit in doua. Pe de o parte matematicienii si-au pus intrebarea daca ecuatie Navier-Stokes este capabila sa descrie turbulenta. Adica, are ea numai solutii line, ceea ce ar fi in contra observatiilor experimentale, sau nu? Daca turbulenta are alta cauza, cum ar fi frecarea dintre fluid si un solid mic, aceasta cauza nu intra in ecuatie Navier-Stokes, care, altfel, ar putea avea numai solutii line. Aceasta este o problema de matematica, pe capul careia s-a pus si un premiu, numit premiul mileniului. Premiul mileniului turbulent, sau premiul problemei turbulente a mileniului. Pe de alta parte, fizicienii si-au dat si isi dau in continuu cu parerea cam cum ar fi treaba cu turbulenta, dupa cum li se arata intuitiei lor; care, de altfel, e sloboda, salbatica si fara nici un friu. Desigur au aparut si curciturii, imperecheri nepotrivite intre matematicieni si fizicieni. Oameni care modifica aiurea ecuatiile, dupa cum le suna. Si muzica dominanta a fost si este ca treaba ar fi statistica, nu mecanica. Ceea ce ar insemna ca in turbulenta apar distributii de miscari mai scurte si mai rapide, si distributii de miscari mai largi si mai lente. Si ca astea din urma ar da energie celor dintii, care ar disipa energia in caldura; sau viceversa. Si tot asa, cu o fantezie pe cit de debordanta pe atit de dezgustatoare. Cu astfel de teorii s-au facut oameni mari, precum Heisenberg, Kolmogorov, Obukhov, Chandrasekhar, etc, etc.

Se zice ca atit i-a durat treaba, ca odata ajunsi in rai astia l-ar intreba pe Dumnezeu doua lucruri: De ce, Doamne, Relativitatea si de ce, Doamne, Turbulenta? Si ei spera ca Dumnezeu sa aiba un raspuns la prima intrebare. Cum ar veni, nu la a doua. Se pune aceasta curiozitate finala pe seama lui Lamb, a lui Sommerfeld, a lui Heisenberg, in fine, toata lumea buna. Sa vedem asadar cita poezie in stiinta asta!, nu-i asa? Cit romantism, cita vibratie, ce ardoare, ce mai foc! Problema nu-i lasa sa moara.

Pentru matematicienii avintati, as zice avinati, o buna invatatura a dat Kolmogorov, probabil fara sa vrea, in vreun rar moment de sinceritate. Kolmogorov ar fi spus ca intre trivial si imposibil e strimt locul; ei bine, numai si taman acolo isi gasesc matematicienii salashul, ca gindacii de bucatarie. Intr-adevar, daca turbulenta provine din alte cauze decit ecuatie Navier-Stokes, nu mai e treaba noastra; problema devine triviala. Ramine sa rezolvam lin ecuatie imposibila Navier-Stokes.

Pentru fizicienii dezlantzuitzi, orice problema e importanta, cit ar fi ea de prostiasca. Locul dintre trivial si imposibil e larg, acolo noi haladuiim. Remarca lui Kolmogorov nu i-a atins nici pe matematicienii ce cauta locuri inguste, nici pe fizicienii care stiu numai de nesfirsitele intinderi.

Ramine sa vedem ce ar fi normal de spus.

Oamenii cred ca daca ai o ecuatie, n-ai decit s-o rezolvi, si atunci gata descoperirea. Oamenii cred ca n-ai decit sa ai o problema, fiindca atunci, gata, o rezolvi, si aia e: ai solutia. Aceste credinte sint false, ele nu functioneaza. Trebuie sa stim ca noi sintem capabili sa formulam o problema numai dupa ce am rezolvat-o, dupa ce ii stim, i-am vazut, solutia. Asadar, revenind la turbulenta, mai intii ar fi cazul sa vedem ce vedem, cum ne-o reprezentam, cum e ceea ce ni se pare ca vedem? Cu o privire limpede vedem ca turbulenta e facuta din multe si mici virtejuri, care se apropie unele de altele, se departeaza, dispar si reapar, tot timpul fluctuind. Ca urmare sa facem multe si mici virtejuri. Deocamdata statice, si sa le punem in diverse puncte, haotic

raspindite in spatiu. Cum facem asta? Ei, asta e meseria. Trebuie sa stii sa scrii matematic ceea ce vezi. Sa zicem asadar ca am facut virtejurile. Ele sint mici si rapide rotiri de fluid, in jurul cite unui punct, unde viteza fluidului este "singulara", e "infinita"; acolo e "ochiul bulboanei". Sa cercetam daca aceste vortexuri satisfac ecuatiile Navier-Stokes; evident, nu o satisfac. Dar! Mai intii vedem ca aceste vortexuri interactioneaza intre ele cu forte, care le atrag, le resping, asa incit acest lichid vortical este instabil. Asta e bine, asa e turbulenta. Aceste forte fac sa dispara vortexurile, sa se dizolve unul in altul, si apoi, daca vrem ca turbulenta sa existe in continuare, trebuie sa admitem ca ele, vortexurile, reapar; in alte puncte, cu alte magnitudini. Fluctuatiile astea nu ne intereseaza. Sa mediem vortexurile pe ele. Apoi sa mai admitem ca vortexurile sint distribuite omogen si izotrop, ca la turbulenta. Atunci obtinem viteza zero, termenul nelinier zero, si ecuatiile Navier-Stokes este satisfacuta. Dar este satisfacuta trivial, fiindca in ea totul e zero. Trivial si nu prea, intrucit ramin singularitatile, unde viteza este practic infinita. Sintem acum in posesia unui gaz de vortexuri singulare, care este el insusi un fluid; sau o solutie de vortexuri dizolvate in fluidul de baza, care se poarte ca un fluid. Pentru acest gaz se poate formula ecuatiile Navier-Stokes. Ei bine, pentru acest gaz, ecuatiile Navier-Stokes devine ecuatiile lui Newton, cu o frecare mica, neglijabila. Care ecuatie este satisfacuta de acest fluid gazos. Gazul de vortexuri singulare poate fi privit ca un gaz clasic ideal, foarte aproape de echilibru termodinamic. Cu asta, problema este rezolvata. Turbulenta este un gaz de vortexuri singulare, care satisface ecuatiile Navier-Stokes in forma ei redusa de ecuatie Newton. De la imposibil am ajuns la trivial, si de la trivial am ajuns la o problema cu solutie si sens.

Ecuatiile Navier-Stokes este rezolvata exact in multe cazuri, practic cam in toate de interes. Nu exista o metoda generala de rezolvare a ei, dar la care ecuatie exista? Solutia depinde de imprejurari. Problema e ca aceste solutii sint instabile, explodeaza, la perturbatii mici, e-adevarat, de un anumit tip, cele care dau variatii mari ale vitezei pe distante scurte. Acest lucru nu este prea riguros demonstrat, dar e foarte probabil, exista serioase argumente pentru, si se vede in practica. Dac il luam de bun, problema mileniului ar fi rezolvata, in sens negativ desigur. Nenorocirea este ca in aceste conditii fluidul continua sa se miste, el devine turbulent, asa incit apare din nou problema mileniului. Reprezentarea turbulentei descrisa mai sus rezolva definitiv problema: problema trece in alta problema, care are solutie pozitiva.