

# DIVERSE PARTICULARITĂȚI OBSERVATE LA CURGEREA APEI ÎN RIURI

(Conferința ținută la Societatea de Științe din București).

DE

**VICTOR V. STOICA**

Inginer; Șef de Secție în Direcția Serviciului Hidraulic

## 1. Generalități.

Cele ce voi arăta aci sunt cunoștinți și ipoteze ce se fac azi și la cari s'a ajuns în chestiunea curgerii apei, așa de complicată.

Va trebui să se mai lucreze mult timp, și mai ales pe cale experimentală, pentru a se putea obține câte- ceva din regulile și legile ce guvernează acest capital al hidraulicii.

Problema aceasta, ca și cele mai multe de hidraulică, ține atât de fizica moleculară cât și de mecanică (hidrodinamica). Cine-va trebuie a cunoaște perfect ambele aceste științe și să îndrepte cercetările pe ambele aceste căi pentru a ajunge la rezultate bune.

Ceea ce mai ales m-a îndemnat să fac această forte sumară comunicare este mai ales faptul că am avut ocaziunea să văd scris și să aud cu privire la curgerea apei în riuri, explicațiuni și ipoteze foarte greșite, altele cu totul vechi de care s'ar putea aminti cel mult ca istoric, iar unele chiar umoristice.

Apa nu curge simplu cum se pare la cei profani, doar de la deal la vale. Aceasta o știe ori cine. Cum se face curgerea, însă, aceasta este foarte complicat iar legile după care se face nici nu se cunosc.

Pentru cei cari s'au ocupat puțin cu hidraulica fluvială, cele ce voi spune acum nu va fi aproape nimic nou. Ele se găsesc parte în orice tratat mai complet de hidraulică sau în memorii și rapoarte științifice cunoscute. În primul rînd m-am folosit de lucrările D-lui *Fargue*., intemeietorul hidrodinamicii noi a rîurilor, *Boussinesq*, *Flamant*, *Von Bubendey*, cum și mai ales lucrările din laboratoarele de hidraulică fluvială din Germania, mai ales de lucrările D-lui Profesor *Engels* (Dresda).

Ingineri englezi, și mai ales americani, cu ocazia lucrărilor pe Misisipi, contribuiesc azi mult la dezvoltarea cunoștințelor de hidraulică fluvială și de o serie de experiențe de ale lor se folosește azi, pentru a se putea da formule și ipoteze mult mai plausibile ca în trecut.

Dau mai jos ipotezele și concluziunile mai principale asupra scurgerii apei, fără însă a da la toate și demonstrațiunile originale, cari parte s'au înlocuit cu altele mai bune, iar parte nu sunt destul de exacte. De aceea le am înlocuit cu altele ce le-am crezut mai riguroase (relativ) ca cele anterioare și bazate pe cunoștințele ulterioare, pe cari autorii diverselor legi nu le au avut în timpul lor.

Hidrodinamica luată ca un capitol de fizică sau mecanică, nu este bine cunoscută; așa că de cele mai multe ori, în loc să ne dea formule bune și aplicabile, chiar ne induce în eroare și tocmai după ce se execută vre un proiect mai hazardat, bazat pe aceste date se vede că nu corespund cu starea reală a lucrurilor.

Ecuatiunile hidrodinamice cunoscute nu se pot integra de cît admițînd anume ipoteze; una din cele usitate aproape peste tot este cea a unor *fire paralele.....* etc. adică mișcările tratate în ori-ce hidraulică cu variantele: *mișcarea permanentă, uniformă, variată*, etc.

Ipotezele aceste sînt absolut necorespunzătoare cu starea de fapt, și din pacate în acest sens se fac toate lucrările de mecanică și analiză. Dacă toate aceste încercări s'ar îndrepta pe o altă cale mai apropiată faptelor reale, poate că ar fi mai simplu și în ori-ce caz rezultatele mai utile.<sup>1)</sup>

Afară de ecuațiunea diferențială a continuității, sub forma ei cea mai generală:

$$\frac{d u}{d x} + \frac{d v}{d y} + \frac{d w}{d z} = 0,$$

în care  $u$ ,  $v$ ,  $w$  sînt componentele vitezei pe cele trei axe; afară de aceasta relație care este suficient de exactă, altă relațiune nu mai avem pentru întreg capitolul hidrodinamiceii.

---

1) Ultimele formule aplicabile ale ecuațiunilor hidrodinamice se găsesc tratate de *D. Maurice Alliaume*. (A se vedea *Annales des travaux publics de Belgique* August 1908).

## 2. Mișcarea apei.

Ca să putem analiza aceasta voi expune în un mod mai simplu cîte va feluri de mișcări, ce le poate avea un element lichid, fie izolat, fie făcînd parte din o masă lichidă.

Pentru acest lucru voi descompune mișcarea apei în alte două ce s'au putut observa mai bine, pînă azi, și anume :

1. O mișcare de *cădere* datorită gravitațiunei ; și

2. O altă mișcare ce s'a numit de unii de *pulsațiune* și e datorită unor fenomene mai complexe, pe cari în parte le voi arăta în cele ce vor urma.

Deși acest fel de descompunere a mișcării apei nu se poate face, de fapt, ele fiind împreună tot d'auna ; totuși pentru claritatea chestiunei și ușurarea demonstrării cred că se poate admite.

## 3. Mișcarea datorită gravitațiunei.

Iau un element lichid de o formă oare-care. Negreșit că va fi de o formă regulată, condițiunile de echilibru fiind de o potrivă în toate sensurile. Pun acest element pe o placă, ce o înclin treptat pînă ce elementul începe să se deplaseze. Pentru a fi în condițiuni mai juste, placa o presupun cu suprafață aspră, așa ca să se producă frecări iar lichidul să aibă cît mai puțină aderență. Dacă înclinarea plăcei este de la început mare, gravitația va predomina în compunerea forțelor la cari este supus elementul și aceasta va descrie o traiectorie după linia de cea mai mare pantă. Dacă însă înclinarea plăcei este mai mică, atît nu mai cît elementul lichid să poată începe mișcarea, atunci gravitatea lucrînd asupra elementului nu va mai fi așa mare ca să predomine celelalte forțe exterioare și va trebui să se compună cu acestea dînd o rezultantă oare-care.

Forțele exterioare ce intervin sînt frecările, în primul rînd.

Elementul aflîndu-se în planul de care am vorbit, cu înclinare ast fel ca gravitatea să nu anihileze celelalte forțe, atunci pe fața elementului în contact cu planul se vor naște o serie de frecări. Aceste frecări (solidul hașurat în fig. 1) vor avea un centru de frecare, sau mai bine zis un centru de presiune. Ele lucrează în sens contrariu mișcării de cădere care se face cum am spus mai sus în direcția linii de cea mai mare pantă. Se va forma ast-fel un cuplu care tînde să rotească elementul lichid pînă ce linia de că-

dere și cea de presiune (rezultanta frecărilor) se vor confunda pe o aceeași direcție. Rețin din această observație *tendința de rotație a elementului lichid în planul de frecare*<sup>1)</sup>. Ajuns elementul în acest stadiu, dacă frecările ar rămâne distribuite după aceeași lege ca mai înainte, adică am avea același solid de presiune pe care îl am în fig. 1, elementul lichid ar trebui să se miște rectilini.

Cum însă această mișcare nu se poate continua în mod indefinit în același sens, ea este necesarmente periodică și în consecință sinusosă.

În adevăr frecările se schimbă neconținut, fie din cauza neomogenității repartizărilor, fie mai ales din cauza variațiunii vitezei elementului, care tinde în virtutea gravitației să devină accelerată. Elementul va începe a avea mișcări de amplitudini din ce în ce mai mici, asimptotice liniei de cea mai mare pantă cu care începe să se confunde de la un moment oare-care (fig. 2).

Presupunem că elementul lichid nu este în stadiu în care gravitatea predomină, ci că o serie de frecări ce se produc determină mereu o serie de mișcări. Cum însă

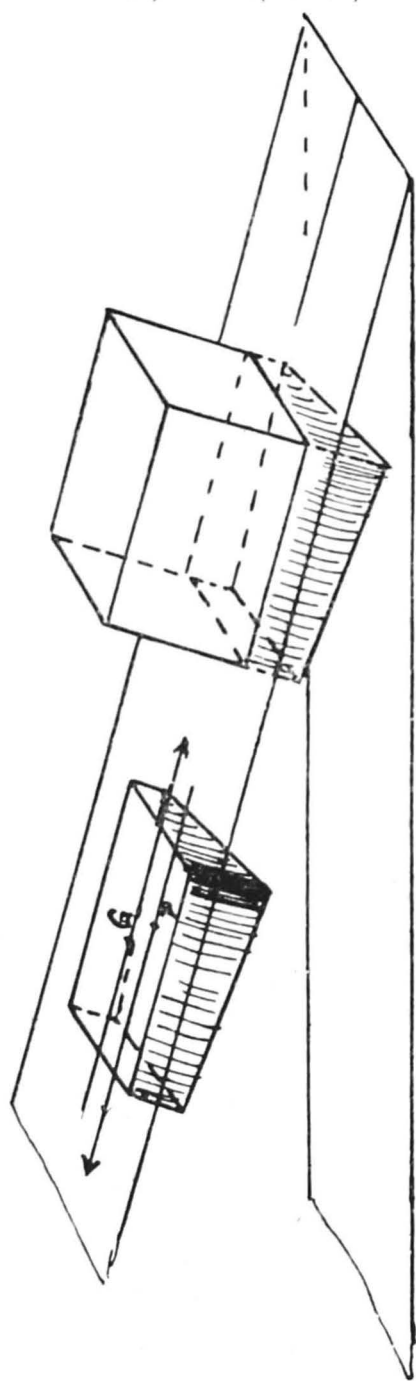


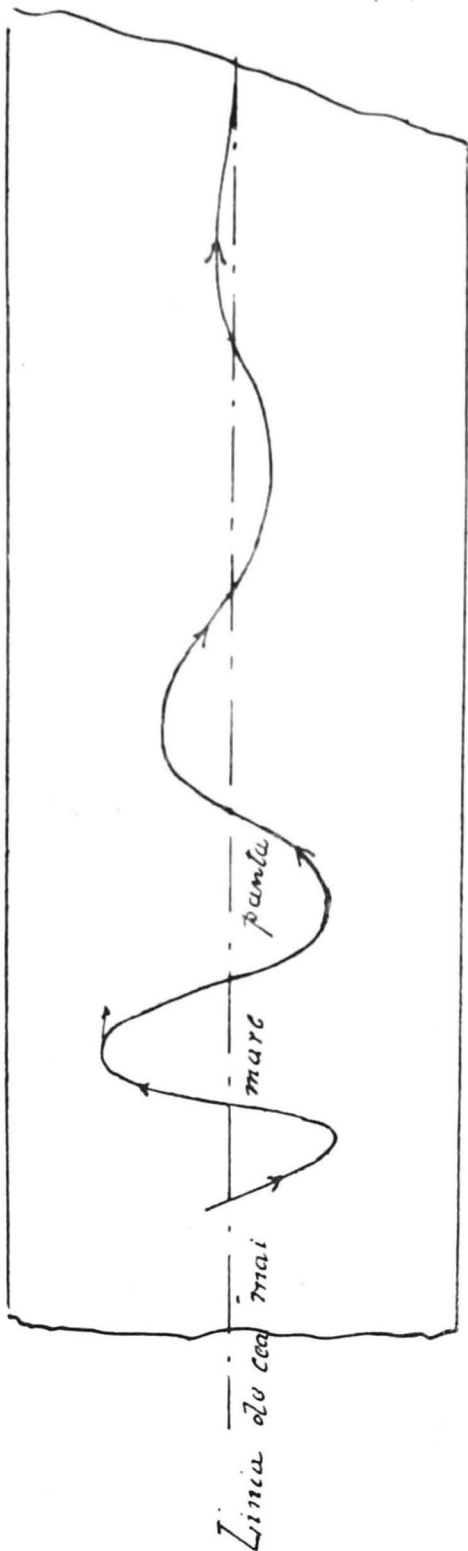
Fig. 1

1) Se poate demonstra aceasta și cu teoria *tensiunilor moleculare* după cum a observat D-l Prof. *Bungheteanu*, făcându-se și experiențe în acest sens.

(ca și la Probabilități) cantitatea de frecare va crește, cînd de o parte, cînd de alta a liniei de cădere, atunci și cuplul de rotațiune va fi cînd într'un sens, cînd în cel alt, și deci și elementul lichid va continua un drum șerpuit de lungime de undă și amplitudine variabilă. Această formă de traiectorie va fi, pînă acuma în ipoteza noastră admisă, datorită numai frecărilor și gravitației.

Pentru a ilustra mai bine această observație putem imagina următoarea experiență: Pe o placă orizontală, aspră, punem o picătură de un lichid care să se poată mișca fără aderență, adică în condițiunile puse mai sus în cari intră numai frecare și gravitate. Inclinem treptat această placă pînă ce elementul începe să se miște și micșorăm unghiul ce'l face planul cu orizontala treptat, pentru ca mișcarea acceleratrice să nu se mărească prea mult și elementul să ia direcțiunea linii de c. m. m. pantă.

În aceste condițiuni elementul se găsește mereu în aceeași stare ca la început, supus în mod permanent unui cuplu de rotație într'un sens sau altul și traiectoria descrisă va fi o sinusoidă.



Experiență ce o fac cu planul înclinat, cărui îi micșorez înclinarea, nu este de alt fel, de cât imitarea exactă a celor ce se petrec în natură. În adevăr făcînd abstracție de puncte și regiuni excepționale unde ar fi stînci, cascade, lacuri etc., *panta albiei* unui rîu, începînd de la isvor pînă la gura sa, nu este altceva de cât o succesiune de asemeni planuri de pantă diferite și descrescende din ce în ce mai mult pînă la zero. Descrêșterile pantelor la început sunt mult mai mari de cât spre gura rîului. Lungimea pe care o pantă o păstrează la începutul unui rîu este însă mult mai mică de cât spre gura sa. O diagramă a pantelor în tot lungul unui curs de apă se poate reprezenta ca în fig. 3 și se caracterizează prin cele ce am spus mai sus. 1) Mișcarea de micșorare treptată a în-

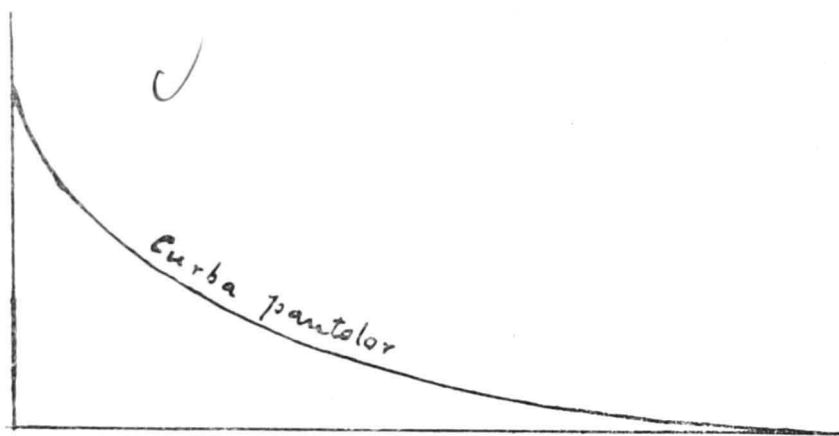


Fig. 3

clinării planului meu de experiență, pe care cade elementul lichid, va da o diagramă aproape ca cea a pantelor unui rîu. Amplitudinele undulațiunilor vor varia după înclinările acestor diverse plane, și vor fi mai mari și mai pronunțate (curbe de raze m. mici) pe planele superioare cu pantă mai mari; și mai mici și (curbe) mai puțin pronunțate (curbe cu raze m. mari) pe planele inferioare de pantă mai mici.

Aceste particularități corespund cu șerpuirile rîurilor pe porțiunile superioare și inferioare ale sale. Forța vie este mai mare pe porțiunea de sus a unui rîu, ea va fi anihilată prin mișcări mai brusce cari produc frecări și pierdere de energie mai mare, de

1) Sistemazione dei Fiumi. — Di Carlo Valentini.

aceea și coturile ce riul le face în aceste porțiuni sunt mai pronunțate.

Dacă natura albiei riului nu permite această înclinare variată a pantei albiei sale după regimul riului, atunci va urma alt sistem de șerpuire conform stărei sale, însă în decursul timpului tinzind mereu către formarea pantei sale după regimul propriu.

Cea ce am zis aci de un element pus pe o placă pentru a cădea pot spune de acest element pus în o masă de apă în curgere. În acest caz, evident, nu se va mai face frecarea numai pe față inferioară a elementului, ci pe toate fețele obținând astfel un solid de presiune, negreșit însă ca pe față inferioară frecarea va fi mai mare. Acum centrul de presiune  $P$  al forțelor exterioare va ocupa o poziție în spațiu ceva mai jos de centrul de gravitate al elementului. Rezultă de aci o tendință de rostogolire a elementului. Aceasta, și cu tendința de deviere în plan, se compun imprimând elementului o tendință de mișcare de rotație, în acelaș fel, cum se imprimă unui proiectil eșit din țeava unui tun.

Cind în parcursul său, elementul întâlnește strate sau elemente ce posedă o cantitate de mișcare mai mică, cum este cazul spre fundul curentului, atunci elementul venind animat de o forță vie mai mare și mărită încă prin forță acceleratice căpătată în coborire; în virtutea principiului reacțiunei, el va fi reflectat către regiuni ce-i opun o rezistență mai mică. Aceste regiuni sunt însă tocmai stratele superioare sau mai just cele cari se apropie de firul de viteză maximă și către cari elementul va fi din nou absorbit. Această absorbțiune către firul de viteză maximă se cunoaște de alt-fel de la mișcarea materiilor în suspensiune.<sup>1)</sup> Se constată acestea darămind puțină argilă din malul pe unde curge apa în mod liniștit. Firele de argilă sunt purtate în suspensie, urmează o traiectorie vizibilă în formă de melc și se îndreptă către mijlocul riului.

Se naște ast-fel, împreună cu mișcarea longitudinală de curgere, o șerpuire generală a elementului lichid, datorită gravitațiunei.

#### 4. Mișcarea de pulsațiune a apei

Observațiuni făcute cu ocaziunea masurătorilor de viteză a apei, atît în natură, cît și în laboratoare, arată că ținînd un apa-

1) A să vedea: *Formarea malurilor albiei minore în Buletinul Societăței Politecnice*. (Anul XXVI pag. 192—206 Maiu 1910).

rat de măsură a presiunii în un punct fix, în un curent de apă, se produce o variație continuă de presiune în tot decursul timpului de observare.

Diagrama unei asemenea variațiuni se prezintă ca în fig. 4 și arată o mișcare vibratorie. Amplitudinea acestor vibrațiuni, cum și

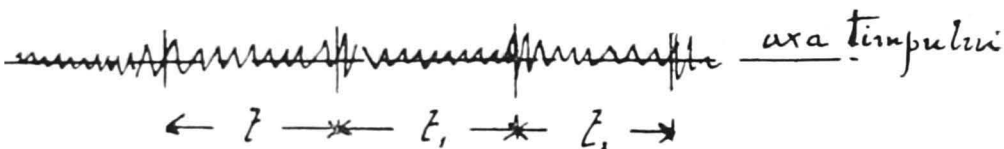


Fig. 4.

modul lor de reproducere, diferă după cum este și starea apei. Apoi o serie de asemenea vibrațiuni au o perioadă de lungime de timp  $t$  care se reproduce, mai mult sau mai puțin, în aceeași formă. Mărimea vibrațiilor și a tuturor elementelor, ce compun acest fel de mișcare, sunt cu atât mai evidente cu cât apele sunt în creștere.

Acest fel de mișcare a elementelor lichid în cursul unei ape se numește după unii *mișcarea de pulsațiune*. Explicarea acestui fenomen pînă acum însă nu este dată. Iată cum D-l Flamant <sup>1)</sup> definești această mișcare :

«Este un fapt constatat de mai mulți observatori, că variațiile «composantei longitudinale a viteselor se fac prin *perioade regulate*, «*ritmice* și sunt întru cît-va rezultatul unei oscilațiuni sau mai de «grabă a unei *pulsațiuni* pe care se pare că o efectuează masa «licidă.

«Ingineri americani au dat acestui fenomen numele semnificativ de *pulsul rîurilor*. Cauza pare nedeterminată».

Cîteva lămuriri asupra modului de curgere a apei în rîu ne poate pune pe urmele unei explicații ce s'ar putea da acestei mișcări.

În o secțiune oarecare a rîului apa este în curgere în virtutea unui regim propriu acelei secțiuni. În o secțiune vecină însă regimul se schimbă căci: sau panta rîului se schimbă, sau secțiunea, sau alt element ce determină regimul, sau fie din simplul fapt al creșterilor sau descreșterilor debitelor de apă.

Va trebui însă ca între aceste două secțiuni să rămână fixă

1) A se vedea : *Hydraulique* par A. Flamant—Troisième édition 1903.



continuitatea de curgere, adică legea continuității să se poată scrie, singura care va trebui în oricare măsură să se păstreze, dacă natural nu sunt pierderi din cauze diverse. Ori, unul din elementele cari pot varia mai ușor în un curs de apă vine în primul rând presiunea hidriostatică.

Presiunea hidrostatică se manifestă prin supra înălțare, din cauza incompresibilității apei. Aceste supraînălțări ajung în aceeași secție transversală la 40—60 cm., în coturi mai ales. Pentru Rin, Dunăre s'a observat denivelări de 40—50 cm. Pe Borcea am găsit anul acesta aproape 10 cm. iar pe Siret, în perioada ascendentă la viitura din primăvara aceasta, la gura sa dela Dunăre, supraînălțarea poate era peste 60 cm. <sup>1)</sup> spre mijlocul secțiunei. <sup>2)</sup>

Cum în genere aceste supra-înălțări vor trebui să prezinte o continuitate și în sensul curgerii, afară de cazuri speciale ca rețele, remuuri etc., rezultă că singurul element ce va putea suferi aceste diverse variații de stări va fi viteza elementelor lichide prin intermediul presiunii hidrostactice.

Mai simplu, acest lucru se poate pune sub forma următoare :

Fie porțiunea unui riu la gura sa, din spre mare sau alt riu. Apa curgind cu o viteză  $V$  întâlnește la revărsare, o masă de apă stătătoare sau de o altă viteză  $V_1$ .

Diferența aceasta de viteză produce o reacțiune de sens invers sensului de curgere al apei și se poate asimila, după cum zice Bașin, <sup>3)</sup> cu formarea succesivă a unor unde de translațiune, ce se propagă unele după altele urcând cursul apei».

Acelaș lucru se întâmplă și dela o secțiune la alta a cursului râului. Se produc, după cum obicinuesc unii a zice, o serie de lame de propagare. Masa de apă ce trece la un moment dat prin o secțiune este oprită a lua o mișcare accelerată de masă de apă din secțiunea imediat din aval și se produce fenomenul de mai sus.

Toate aceste fenomene produc astfel variație de presiune și viteză și se face în felul unei pulsațiuni de amplitudini mici. <sup>4)</sup>

1) Graëff a observat pînă la 2,40 m. pe Loara. (A. să vedea : *De l'action de la Digue du Pinay* pag. 206).

2) Popular plutașii zic : „vine Siretul cu coamă“.

3) *Recherches experimentales sur la propagation des ondes.*

4) Această chestiune, a pulsațiunilor, se poate vedea tratată pe alte baze, a diferențelor de viteză și a traverșurilor corespunzătoare în : „*Beitrag zur Pulsation des Wassers mit Rücksicht auf den Flussbau*“ și „*Einführung in die Rationelle methode der Beobachtung im Flussbau*“. Ambele lucrări de C. Krischan 1911.

O grupă de pulsațiuni de o amplitudine va alterna cu altă grupă de altă amplitudine în unele cazuri. Aceste grupe de pulsațiuni sunt funcțiuni probabile de starea de creștere sau descreștere a rîului și ipoteza se justifică dacă urmărim fenomenul creșterii sau descreșterii căci unda de propagare este sincronă acestor perioade de grupă.

Pulsațiunea fiind o mișcare vibratoare are la rîndul său o traiectorie sinusoidală într'un plan vertical.

## 5. Mișcarea turbionară

(vîrtej, vîrtori, anafore)

În afară de mișcările arătate, ale elementului fluid, mai sunt și altele provenite fie din cauza celor două arătate, fie din alte circumstanțe locale. Între aceste mișcări parazitare, cea mai de seamă este *mișcarea turbionară*.

Am arătat la mișcarea datorită gravitației, că elementul are o tendință de răsturnare. Dacă din diverse împrejurări, această tendință este accentuată mai mult, atunci elementul suferă această mișcare de răsturnare și natural sunt antrenate în acest fel de mișcare și o serie de elemente vecine. Aceasta face că se produce mișcări neregulate și aproape totdeauna giratorii, dînd naștere la ceea ce se numește mișcare turbionară sau turbioane.

Unele turbioane apar aproape în același loc și în mod periodic, sau se mișcă și ele după niște linii oricare. Axele acestor turbioane au în genere direcție verticală însă pot avea și altă direcție, chiar orizontală.

Sunt alte mișcări turbionare, de o mișcare giratorie regulată și permanentă.

Turbioanele se subdivid în mai multe categorii, după diferite particularități ce prezintă.

Lucrarea cea mai complectă asupra acestei mișcări este datorită lui *Boussinesq*.<sup>1)</sup>

Deși această mișcare se găsește foarte răspîndită la cursurile de apă, nu trebuie însă generalizată și să se pretindă că întreaga curgere a apei se face turbionar. Că poate elementul lichid să sufere mișcarea de răsturnare, de care s'a vorbit mai sus, și chiar să parcurgă traiectoria sa cu o asemenea mișcare de răsturnare, a

1) *Théorie du mouvement tourbillonnant.*

ceasta nu s'a constatat și nici nu ne îndreptățește a spune că întreaga mișcare de curgere este turbionară. Pentru a avea acest lucru ar trebui ca o serie de elemente vecine să execute această mișcare de răsturnare împreună, să se producă astfel un curent giratoriu, fie el cât de mic, sau chiar elementul izolat să ia această mișcare. S'ar observa în acest caz fenomene, cari în adevăr se observă la curgeri, unde se întâmplă acest fel de mișcări, cum sunt curgerile prin orificii, deversori etc. Aceasta ar produce perturbari la curgerea materiilor în suspensie în cursul unui curent și am avea oricari modificări ale traiectoriei dela linia continuă sau în viteza punctului material. Acest lucru nu se constată însă, ci din contră se vede că există o continuitate a mișcării longitudinale de curgere, fie chiar vibratorie. Urmărind cu atenție discuția dintre d-l prof. *Engels*<sup>1)</sup> și *Krey*<sup>2)</sup> și experiențele făcute pentru determinarea forțelor de antrenare a unui element material în suspensie; vedem că nu putem admite nici de cum acest fel de mișcare ca făcând parte din fenomenul natural și normal al curgerii.

În punctul unde curentul este foarte repede, și unde în vecinătate se află curenți mai inceți sau ape stătătoare sau pereți cu frecari, acolo se produce o mișcare turbionară în tot lungul acestor rezistenți. Astfel în concavitățile cursurilor de apă, unde curentul este foarte mare, se produce în tot lungul malului un asemenea curent general turbionar. Acest lucru face că un vas mic poate naviga destul de ușor în contra curentului, mergând pe lângă malul concav, unde se formează aceste mici turbioane (anafoare), cari produc un fel de frecare în sens contrar curgerii a cărei putere o micșorează astfel.

## 6. Propagarea mișcării

O experiență sugestivă, care ne dă ideia justă a propagării mișcării în un curs de apă este următoarea:

În un punct oarecare al curentului se pune o substanță colorantă, care să nu influențeze în mod sensibil nici viteza, nici greutatea specifică a apei. Colorațiunea se va împrăști pe toată întinderea curentului sub forma unui con deschis în aval și cu vârful în punctul colorant. (Fig. 5). «Aceasta arată că avem niște compo-

1) *Zentralblat für Bauverwaltung* 22 Febr. 1908.

2) *Zentralbat für Bauverwaltung* 10 Iunie 1908.

sante transversale ale vitezei. Se poate admite că dintr'un punct oarecare al lichidului în mișcare fiecare particulă ce trece pe aci are viteza sa cuprinsă în interiorul unui con deschis spre aval, care are ca ax direcțiunea vitezei medii locale și a cărei generatrice au o înclinare determinată de maximum compozantei transversale a vitezei».

Rezultă că materia colorantă sau apa colorată eșită din un punct determinat nu va eși din acest con, sau mai bine zis, din suprafața envelopă a acestor conuri succesive, cari au ca vîrfuri

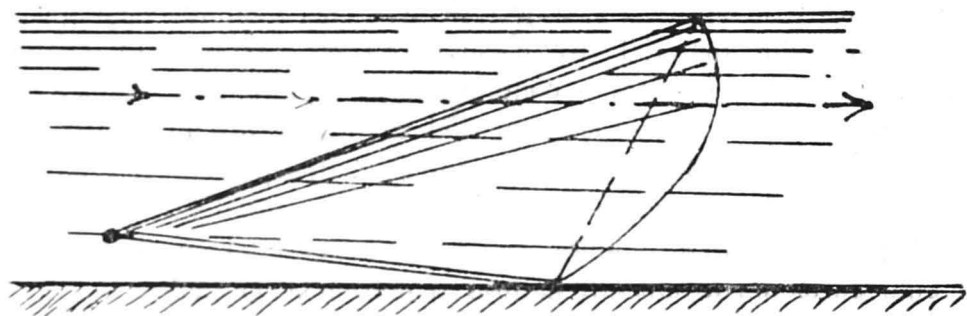


Fig. 5

punctele succesive atinse de o particulă în mișcare. Ori după experiențele făcute de *J. Francis* (America), apa saponificată introdusă în un curent regulat, aproape de fundul albiei, apare la suprafață, în aval la o distanță cuprinsă între de 10—30 ori adîncimea. «Este probabil, spune d-l *Flamant*, că conul de care vorbim nu este cu bază circulară, ci ovală, poate neregulată, prezentînd dimensiunea sa cea mai mare în sens vertical».

Dacă ne gîndim însă la modul de propagare al sunetului, luminei, etc, în aer sau lichide, și cum știm că toate aceste se propagă în unde sferice, vedem atunci că și mișcarea elementelor lichide va trebui să se propage și dînsa în acelaș mod într'un curent. Aci însă această mișcare ondulatorie sferică va fi deformată după viteza de curgere a lichidului.

Diversele sfere se vor împrăștia în sensul mișcării curentului cu mai multă intensitate decît în celelalte sensuri și această putere de propagare se va micșora cu cît ne vom îndrepta în o direcție ce ar face un unghiu mai mare cu direcția de curgere a curentului. Aceasta pînă ce ajungem pe o linie de la care propagarea

nu se mai poate face în contra curgerii și care linie ne dă generatricele conului de propagare.

Deducem deci că conul de propagare va avea baza sa o suprafață curbă convexă spre aval cu punctul cel mai avansat pe firul de viteză maximă. Această suprafață va fi apoi ovoidă și cu dimensia maximă pe o verticală, căci avem tendința de cădere a elementelor.

Dacă din fiecare punct admitem că avem o serie de asemeni mișcări, vedem atunci că din compunerea lor va rezulta o mișcare generală *ondulatorie-sferică-deformată* și care este posibil să contribuie, la mărirea intensității mișcării pulsatorii.

### 7. Mișcarea generală a apei

Dacă urmărim un curs de apă dela izvorul său pînă la revărsare în mare, atunci observăm că mișcarea apei se va face, la început și de cele mai multe ori, în virtutea gravitației, mișcarea pulsatorie venind a contribui într'un raport mult mai mic.

Cantitatea de apă din partea din amonte împinge mai puțin în masa din aval care din cauza pantei mari fuge în baza gravitației. Mergînd spre aval mișcarea pulsatorie începe a se accentua mai mult și predomină aproape toată curgerea pe porțiunea din josul unui curs de apă, unde panta de cugere aproape dispare. Un exemplu pune în evidență mai bine această din urmă observație:

În 1907 am avut ocazia să observ curgerea apei Dunărei pe brațul Sf. Gheorghe, în timpul unor ape foarte scăzute. Lungimea acestui braț, dela Tulcea pînă la revărsarea în mare, la com. Sf. Gheorghe, este  $\approx 100$  km. iar înălțimea etiajului la Tulcea  $+0,30$  d'asupra nivelului Mării Negre. Cum apă avea  $(-0,10)$ — $(-0,15)$  sub etiaj, la Tulcea, rezultă că de aci și pînă la mare curgerea se face dacă admitem numai gravitatea, în virtutea unei denivelări de 20—15 cm. Acest lucru ar fi fost imposibil, denivelarea de 15—20 cm. nu ar fi fost suficientă nici pentru a învinge frecările pe această mare lungimea. La gura brațului Sf. Gheorghe curgerea în mare se făcea cu o viteză mică de 0.15—0.30 cm./sec., chiar cînd vîntul bate din spre mare. Un aparat piezometric arată o mișcare pulsatorie în orice punct îl punem. Evident că aci întreaga această curgere se face numai din cauza împingerilor suferite din amonte cursului Dunărei. Acest fenomen de curgere a apei în un

canal, cu o pantă mică superficială sau aproape nulă, am avut de altfel ocazia s'o observ de multe ori, în unele canale din Delta Dunărei.

În ambele cazuri de mișcare a apei, fie din cauza gravitației, fie din cauza pulsației, fie din cauza propagărilor acestei mișcări; vedem că toate imprimă masei lichide o mișcare sinusoidală a elementelor ce o compun. Se poate și demonstra, deși nu riguros, această mișcare sinusoidală a masei lichide în un riu. Astfel după *Fargue* :

«Consider o porțiune rectilină a râului, cuprinsă între 2 secțiuni  $AC$  și  $A'C'$  de distanță  $D$  una de alta. Considerăm că râul are regim *permanent practic*, înțelegând prin aceasta, cel care consistă atât pentru viteză cât și pentru rezistențe, într'un fel de oscilație de amplitudine și frecvențe mai mult sau mai puțin mare în jurul unor oricare valori medii.

În un punct oricare  $M$  al secțiunii  $ABC$  din amonte ducem o dreaptă  $Mv$  în direcția curentului și de lungime egală cu spațiul  $v$  parcurs în o secundă de molecula corespunzătoare acestui punct.

Locul punctelor  $v$  este o suprafață curbă care, cu perimetrul muiat, planul secțiunii și planul de apă trecînd prin  $AC$ , delimitează un volum  $Q$  egal cu debitul râului pe secundă. Centrul de gravitate  $G$  al acestui volum este punctul de aplicație al rezultantei acțiunilor gravitației pe toate moleculele de apă compunînd debitul râului. Se poate numi *centrul debitului*; el este animat de *viteza medie  $V$*  astfel cum se definește în genere; adică cea care multiplicată prin secțiunea  $\omega$ , dă debitul  $Q$ .

Rezistența se exersează pe perimetrul muiat; ea are ca componente :

1) *Frecarea* propriu zisă, dirijată invers curentului, perpendiculară pe planul secțiunii tangențială la suprafață prin care volumul  $Q$  este în contact cu fundul și malurile.

2) *Reacțiunea* care este normală la această suprafață de contact.

Fie-care rezistența elementară este deci oblică pe planul secțiunii, și rezistența totală este o forță  $F$  al cărui punct de aplicație nu coincide în general cu centrul de debit, a cărui direcțiune este oarecare, și a cărui intensitate depinde de toate circumstanțele formei și constituțiunii perimetrului muiat.

Secțiunea din aval  $A'C'$  are o formă diferită de  $AC$ . A

presupunem, că contururile celor 2 secțiuni ar fi la un moment aceleași, fie în mod natural, fie artificial, această identitate de formă nu poate fi decît efemeră: la prima descreștere, materialele eterogene cari constituie fundul nu se vor opri de sigur în acelaș fel în ambele secțiuni. Cele 2 profile transversale vor diferi mai mult sau mai puțin, dar mai ales, în traseul lor rectilin. Ceeace arată observarea constantă a faptelor, și ceeace se concepe ușor de altfel gîndindu-ne la extrema neprobabilitate a unui rezultat identic.

Dacă facem asupra secțiunei  $A'C'$  aceleași operațiuni și raționamente ca asupra lui  $AC$ , vom avea de considerat un volum  $Q'$  care, în ipoteza regimului permanent, este echivalent cu volumul  $Q$ , dar care diferă de acesta, atît prin conturul perimetrului muiat cît și prin distribuția vitezelor, și a cărui centru de gravitate este, prin urmare, altfel situat decît în secțiunea din amonte.

Dreapta  $GG'$ , adică locul geometric al *centrului debitului*, nu este dar paralel cu direcția generală a curentului.

Adică, *centrul debitului se deplasează în mod transversal și vertical în masa de apă pe măsuri ce el descinde spre aval*. Cum această dublă mișcare nu se poate continua indefinit în acelaș sens, va fi necesarmente periodică și deci sinuasă, atît în plan cît și în profilul în lung. Traectoria așa descrisă are oarecare analogie cu ceeace ar urma-o în spațiu o pendulă al cărui punct de suspensiunea ar fi mobil.

Cursul de apă, în starea naturală, adică cu maluri și fund friabil, își fasonază singur perimetrul muiat astfel ca să reducă la minimum rezistențele ce se opun curgerii sale. Dar forina ce o dă, sau pe care tinde a o da, albiile sale nu convine decît la o anume stare de apă: ea se schimbă cu debitul».

## 8. Consecințe și observații diverse

Dacă presupunem că urmărim elementul lichid care ar avea maximum de viteză în o secție, atunci vedem că aceasta va descrie în spațiu un arc de sinusoidă pînă cînd prin fenomenul de pulsațiune și frecări va perde din forța vie necesară a se menține la punctul de viteză maximă în secția ce străbate în acel moment. Cînd elementul a perdut din forța necesară atunci elementul fluid vecin care se află în poziție mai favorabilă de a ave maximum de forță vie, vine și ocupă locul său pe traectoria generală a cursului apei.

Elementul cel mai favorizat va fi însă cel din un strat superior, căci se găsește animat între altele și de forță acceleratică. Se produce astfel acolo unde viteza de curgere este mai mare un maximum de deviație a firului apei în spre fundul râului, și știm că acest caz este în coturile râurilor. În aceste coturi însă și adâncimea este maximă.

Stabilirea ecuațiunei unei asemenea sinusoide pentru un curs de apă este ceva aproape imposibil. În stabilirea sa intră fenomene complexe și chiar cele primordiale, cum este legea frecării la licide, nu se cunoaște. În conferința D-lui Inginer șef I. Ionescu <sup>1)</sup> s'a putut vedea cit de vagă și nesigură este teoria frecării, cum și formulile stabilite pentru această parte a mecanicii.

Totuși Dl. G. Poisson, în *Annales des Ponts et Chaussées* din 1902, cu ajutorul teorii stabilește o ecuație, în plan, a acestei curbe de forma :

$$(ay + b) \cos \alpha + \frac{c}{a^2} (ay + b) + \left( \frac{c'}{a} - \frac{cb}{a^2} \right) L(ay + b) + c'' = 0$$

În care :  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx}$ .

Cu ajutorul unor ipoteze simplificative această ecuație se rezolvă dând o curbă ce corespunde destul de bine cu șerpuirea cursului de apă.

Cel care pentru prima oară a încercat a da oare-cari reguli și a scoate legi practice cu privire la curgerea râurilor a fost D. L. Fargue. De la dînsul începe, pe o bază mai solidă și cu o îndrumare mai rațională, a se studia această chestiune. Primele sale publicațiuni în această privință le găsim la 1868 <sup>2)</sup> iar începuturile acestor studii au fost reluate și continuate în laboratoarele de hidraulică fluvială din Germania unde au fost dezvoltate și completate în mod metodic, dînd rezultate uimitoare, atât teoretice cît și practice. Ca întemeietor și propagator al acestor laboratoare se poate considera D-l. H. Engels profesor și director al laboratorului din Dresda <sup>3)</sup>. Cu privire la aceste laboratoare am publicat o descriere în *Buletinul Societății Politecnice* 1910 No. 1 <sup>4)</sup>.

Pentru a se demonstra legile lui Fargue se construiește în

1) A se vedea *Buletinul Societății Politecnice* Anul XXVII. pag. 43—52 (Ianuarie 1911).

2) *Annales des Ponts et Chaussées*. Tome XV. 1868.

3) A se vedea: *La Methode expérimentelle appliquée à l'étude de L'Hydraulique Fluviale et Maritime*. — par Alb. Van Hake 1909.

4) A se vedea : *Buletinul Societății Politecnice*. Anul XXVI. pag. 53—61.



miniatură<sup>1)</sup> un curs de apă cu un traseu sinusoidal și care să îndeplinească condițiunile acestor legi. Patul acestui curs se face din nisip foarte curat așa ca să nu fie aderență și cele mai mici eroziuni ce se vor produce să se poată cunoaște. După mai multe încercări se găsește panta și debitul ce convine traseului făcut, și invers făcînd un traseu aproximativ pentru o pantă și debit determinat se găsește după oare cari tatonări cum trebuie traseul rectificat pentru ca să nu se mai producă nici un fel de eroziune, și deci apa să curgă cu minimum de pierderi de rezistență din partea albiei în care curge.

Se găsește ast fel o serie de relațiuni, forte bine stabilite. între diversele elemente ale traseului și regimul cursului, coincidînd esact cu cele găsite în lucrările lui *Fargue*<sup>2)</sup>.

\* D-l *Bubendey* tratează asemenea această chestiune<sup>3)</sup>.

În practică se studiază în mod special regimul cursului de apă pe porțiunea ce ne interesează. Se reproduce cît mai esact față de realitate: albia cursului, variația de debit, pante etc. natural după o scară anume dată de legile hidraulice<sup>4)</sup>. Toate acestea se pot vedea în lucrările citate mai sus, din lipsă de spațiu ne putînd insista mai mult.

Se constată în acest mod că dacă se execută o albie de curgere, de o formă sinusoidală atît în plan orizontal cît și în plan vertical și așa ca curburile sinusoidelor din ambele plane cum și punctele lor de inflexie să îndeplinească regulile lui *Fargue*, atunci curgerea apei se face într'un mod regulat, producînd minimum de frecare și fără a produce eroziuni ale albiei, curgeri turbionare sau discontinuități de curgere la suprafață, adică suprafața apei va avea numai denivelările și traseul dat de legea pantelor și inversiunii pantelor<sup>5)</sup> semnalată de D. Inginer *Girardon*.

Elementul lichid, într'un curent de curgere urmează dar și el la rîndul său un traseu sinusoidal în spațiu, de amplitudine egală

1) A se vedea mai bine în *Buletinul Societății Politehnice*; Anul XXVI pag. 53—61; *Zeitschrift für Bauwesen* 1900 și lucrarea de la nota 3 de la partea inferioară a pag. 122.

2) A se vedea: *La forme du Lit des rivieres à fond mobile* par *Fargue* 1908.

3) A se vedea: *Handbuch d. Ingenieur Wissenschaften: Flussbau und Wasserbau*.

4) A se vedea: *Essais relatifs au Wëser* pag. 76 din: *La Méthode expérimentelle* par *Van Hecke* 1909.

5) A se vedea: *Sur le régime des fleuves à fond mobile*. G. Cuënot Congresso Internazionale di Navigazione. Milano 1906.

cu cea a sinusoidei curentului general, iar pe această traiectorie descrie altă mișcare sinusoidală în plan vertical, de amplitudine foarte mică, mișcare dată de alte fenomene ale curgerii cum ar fi pulsațiunea.

Este de remarcat că urmărind linia suprafeței apei în vecinătatea unui mal, aceasta va prezenta și dinșua un traseu sinusoidal, compus din o serie de sinusoide suprapuse și de amplitudini descrescînde.

Curbile *isotachee* și *isobare* în lungul unui curs de apă, prezintă și dinsele un asemenea traseu sinusoidal.

Prin ajutorul mișcărilor apei și elementelor lichide, ast-fel cum am arătat în această expunere, se poate explica foarte ușor o serie de fenomene din hidraulică ce pînă acum nu se puteau explica, sau cel mult foarte confuz.

Cum se vede, atit din cele arătate aci, cit și din toate lucrările și tratatele cu privire la subiectul curgerii apei, această chestiune nu este tratată din punct de vedere fizic sau matematic cu toată competența necesară; ci mai mult a fost privită din punct de vedere tehnic, căutînd mai mult a ajunge la rezultate practice, cari să ne dea mijloacele necesare la rezolvarea chestiunilor curente atit de importante. Explicația fenomenelor și observațiunilor făcute în aceste cercetări, nu s'a inveșmîntat cu teoriile cele mai noi mai ales de ordin fizic. Rămîne ca fiziciani și matematiciani de specialitate să reia și să completeze din punctul lor de vedere aceste traseuri generale pe cari inginerii le deschid științei, și cari es din competența și cadrul pe care menirea noastră ni-l inpune. Se va găsi ast fel lucruri interesante și utile.

De sigur că specialiștii vor găsi explicațiile date pînă acum ca necomplete și poate chiar greșite, dar trebuie să se aibă în vedere că sîntem abia la începutul acestor noi probleme și că pentru tehnică rezultatele practice și formulile aplicabile sunt interesante, explicațiunile lor mult mai puțin.