

UNIVERSITAT AUTONOMA DE BARCELONA

DEPARTAMENT DE TERMOLOGIA

MECANICA DE FLUIDS

A. EQUACIONS FONAMENTALS

1. Equacions de balanç de massa, impuls i energia

1. Definició de fluid. Aproximació contínua. Caracterització de l'estat.

2. Els conceptes cinemàtics: velocitat, acceleració.

3. Equació de balanç de massa.

4. Gradient de velocitats: velocitat de deformació, vorticitat.

5. Tensor de pressions.

6. Equació de balanç d'impuls.

7. Equació de balanç de moment angular.

8. Energia interna.

9. Flux de calor i dissipació viscosa.

10. Equació de balanç d'energia.

2. Segona llei de la Termodinàmica. Balanç d'entropia.

1. Entropia. Hipòtesi d'equilibri local.

2. Equació de Gibbs.

3. Equacions d'estat.

4. Balanç d'entropia.

3. Equacions constitutives.

1. Generalitats. Restriccions.

2. El tensor de tensions. Aproximació lineal.

3. El flux de calor. Aproximació lineal.

4. Limitacions de la teoria clàssica.

B. EL FLUID PERFECTE

4. Equacions bàsiques

1. Definició. Equacions constitutives.

2. Equacions de balanç: equació d'Euler, conservació entropia

3. Flux d'impuls i flux d'energia.

4. Hidrostàtica.

5. Estabilitat d'una configuració hidrostàtica.

5. Teoremes generals de la dinàmica d'un fluid perfecte
 1. Conservació de la circulació de la velocitat.
 2. Equacions per a la vorticitat.
 3. Moviment potencial d'un flux irrotacional.
 4. Teoremes de Bernoulli; flux estacionari, flux irrotacional.
 6. Fluid incompressible. Flux irrotacional.
 1. Funció de corrent. Formulació de les equacions bàsiques.
 2. Flux uniforme i singularitats.
 3. Flux al voltant d'una esfera.
 4. Força i moviment sobre un cos en moviment estacionari.
Masses virtuals.
 7. Fluid perfecte incompressible. Flux irrotacional en dues dimensions.
 1. El potencial complex.
 2. La transformació conforme.
 3. Fluxs bidimensionals elementals.
 8. Ones en un fluid incompressible.
 1. Ones de gravitació de petita amplitud. Capa semiinfinita i finita.
 2. Ones de gravitació de gran amplitud. Equacions no lineals.
 3. Ones internes.
- C. EL FLUID NEWTONIA
9. Equacions bàsiques
 1. Definició. Equacions constitutives.
 2. Equacions de balanç: equació de Navier-Stokes i balanç d'energia.
 3. Flux d'impuls i flux d'energia.
 4. Dissipació d'energia.
 5. Condicions als límits.
 6. Similaritat de fluxs i anàlisi dimensional.
 10. Fluxs estacionaris amb equacions de Navier-Stokes lineals.
 1. Flux de Couette pla i axial.
 2. Flux de Poiseuille pla i axial.
 3. Flux unidimensional en conducte rectangular.

11. Fluxs no estacionaris amb equacions de Navier-Stokes lineals.

1. Flux de Couette sobtat.
2. Flux longitudinal entre dos cilindres concèntrics.
3. Placa oscil·lant en el seu propi pla.

12. Solucions exactes de les equacions de Navier-Stokes per a flux estacionaris. Casos no lineals.

1. Doll laminar circular.
2. Flux bidimensional contra placa plana.

13. Moviment lent en un fluid viscos. Nombre de Reynolds baix.

1. Formula de Stokes per al moviment d'una esfera.
2. Aproximació d'Oseen.
3. Força sobre una esfera oscil·lant.

14. Aproximació de capa límit. Nombre de Reynolds elevat.

1. L'aproximació de capa límit laminar.
2. Problemes elementals: flux al llarg d'una capa plana, flux al voltant d'un pla que gira, flux en un canal convergent, dolls laminars axisimètrics.
3. Separació de capa límit.

D. CONDUCCIO TERMICA**15. Equacions bàsiques.**

1. Llei de Fourier: equació general de la propagació de calor.
2. Conducció tèrmica en un fluid incompressible.
3. Conducció tèrmica en un medi infinit.
4. Conducció tèrmica en un medi finit.

16. Aproximació de capa límit.

1. Llei de similitud i nombres adimensionals.
2. Aproximació de capa límit.

E. ESTABILITAT HIDRODINAMICA**17. Mètodes d'estudi de l'estabilitat.**

1. Estabilitat del moviment estacionari d'un fluid.
2. Anàlisi lineal clàssica: modes normals.
3. Mètodes globals: Lyapunov (energia, entropia)
4. Estudi de fluxs secundaris o estructures dissipatives. Teoria de Landau-Hopf i bifurcació de solucions secundaries.

18. Estabilitat de fluxs concrets.

1. Estabilitat del flux de Couette: problema de Taylor.
2. Estabilitat del flux de Poiseuille: equacions d'Orr-Sommerfeld.
3. Problema de Rayleigh-Bénard.

F. FLUX COMPRESSIBLE.**19. Nocións d'acústica.**

1. Ones sonores: energia i impuls.
2. Reflexió i refracció d' ones sonores.
3. Propagació, dispersió i absorció del so.

20. Fluxs compressibles elementals.

1. Ejecció de gas per un conducte de secció variable.
2. Moviment viscos compressible d'un gas en una tuberia.
3. Formació de discontinuitats en una ona sonora.
4. Escolament supersònic al voltant d'una ala.

21. Ones de xoc.

1. Superfícies de discontinuitat.
2. Ones de xoc d'intensitat feble.
3. Sentit de variació de les quantitats en una ona de xoc.
4. Ones de xoc en un gas perfecte.

G. DESCRIPCIO MICROSCOPICA.**22. Teoria cinètica de gasos.**

1. Equació de Boltzmann.
2. Deducció de les equacions hidrodinàmiques de balanc.
3. Mètode de Chapman-Enskog.
4. Deducció de les equacions constitutives.

23. Estructura de líquids.

1. Constitució molecular dels líquids.
2. Models líquids.
3. Estructura real dels líquids.

H. TURBULENCIA.**24. Alguns aspectes teòrics del flux turbulent.**

1. Moviment mig i tensions de Reynolds. Jerarquia d'equacions.
2. Cinemàtica i dinàmica de la turbulència homogenia.
3. Cinemàtica i dinàmica de la turbulència isotropa.
4. Espectre unidimensional d'energia.
5. Amortiguació de la turbulència homogènia.
6. Teoria de Kolmogoroff.
7. Teories dinàmiques de la turbulència homogènia: Heisenberg, Millionshikov.

25. Turbulència en fluxs concrets.

1. Turbulència en tuberíes.
 2. Capa límit turbulenta: perfil logarítmic.
 3. Teoria de Von-Karman.

I. FLUIDS NO NEWTONIANS

26. Extensió de la termodinàmica clàssica de processos irreversibles.

1. Limitacions de la teoria clàssica de processos irreversibles.
 2. Nocions de Termodinàmica Racional: entropia, temperatura empírica, desigualtat de Clausius-Duhem, restriccions sobre les equacions constitutives.
 3. Extensió de la Termodinàmica de Processos Irreversibles.

27. Equacions constitutives no lineals.

1. Evidències experimentals de les limitacions de la teoria de Navier-Stokes.
 2. El tensor de pressions com a funció del tensor de deformacions: equació de Reiner-Rivlin, limitacions, llei potencial.
 3. El tensor de pressions com a funció del tensor de deformacions i les seves derivades: equacions de Rivlin-Ericksen, fluids de segon ordre.
 4. Alguns fluxs específics:
 - a) Flux de Poiseuille
 - b) Flux de Couette
 - c) Efectes de tensió normal.

5. Introducció als

- Viscoelasticitat.

 1. Formulació integral de les equacions constitutives.
 2. Formulació diferencial de les equacions constitutives.
 3. Un exemple: relaxació en viscoelasticitat lineal.

J. MAGNETOHYDRODINAMICA

29. Fonaments.

1. Equacions de moviment d'un fluid conductor en presència de camps elèctrics i magnètics.
 2. Un exemple: el flux de Hartmann.
 3. Equacions de moviment linealitzades: ones acústiques, ones d' Alfvén en direccions especials.

K. SUPERFLUIDS.

30. Propietats bàsiques.

- ## 1. Superfluides. Història.

2. La transició: el punt lambda.
3. El fluid normal i el superfluid en termes d'excitacions
4. Efectes termomecànics.

31. Moviment sense rotació.

1. Equacions del moviment i condicions als límits.
2. Processos dissipatius. Segona viscositat.
3. Equacions linealitzades i relacions de dispersió.
4. Primer so i segon so.

32. Moviment amb rotació.

1. Rotació d'un superfluid.
2. La teoria de vòrtexs d'Onsager-Feynman.
3. Equació de moviment d'un superfluid amb vòrtexs.

L. FLUIDS GEOFISICS I ASTROFISICS.

33. Equacions bàsiques.

1. Restriccions degudes a la rotació. Teorema de Proudman-Taylor.
2. Equacions de Bernoulli respecte d'un sistema en rotació.
3. Flux d'Ekman.

34. Meteorologia.

1. Flux geostòfic, barotòpic i baroclinic.
2. Vent tèrmic.
3. Capa límit atmosfèrica.

35. Oceanografia.

1. Models dinàmics d'oceans.
2. La capa límit aire-mar.
3. Balanç tèrmic marítim.
4. Càlcul de corrents.

36. Astrofísica.

1. Equacions diferencials d'una estrella en equilibri.
2. Estabilitat del gradient radiatiu i transport convectiu.
3. Equacions constitutives: densitat, opacitat.
4. Producció d'energia: contracció gravitatorià, reaccions nuclears.
5. Alguns models particulars: politrops, Cowling.

M. COMBUSTIÓ.

37. Hidrodinàmica de la combustió.

1. Equilibri químic i llei d'acció de masses.
2. Combustió lenta. Velocitat de la flama.
3. Detonació. Corba de Hugoniot. Condició de Chapman-Jouguet.
4. Relació entre diversos règims de combustió.

N.FENOMENS DE SUPERFICIE.

38.Formulació termodinàmica.

1. Definicions de magnituds interfacials. Formulació termodinàmica.
2. Tensió superficial. Fórmula de Laplace.
3. Aplicació de la termodinàmica de processos irreversibles
4. Ones capilars.

O.CRISTALLS LIQUIDS.

39.Dinàmica de cristalls líquids nemàtics.

1. Introducció. Història. Aplicacions.
2. Fases nemàtica, colestèrica, smèctica,
3. L'energia lliure d'un cristall nemàtic.
4. Relació entre orientació i flux: equacions de moviment.
5. Relacions constitutives: coeficients de Leslie.
6. Flux de Poiseuille d'un cristall líquid nemàtic.

BIBLIOGRAFIA

Fluids/ 3

- * 1) L.D.LANDAU and E.M.LIFSHITZ, Mécanique des Fluides, MIR, Moscú, 1971 (versió russa 1954)
- * 2) C.S.YIH, Fluid Mechanics, Mc Graw-Hill, New York, 1969
- 3) G.K.BATCHELOR, An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press, Cambridge, 1967.
- 4) N.CURLE and H.J.DAVIES, Modern Fluid Dynamics (2 vol), Van Nostrand-Reinhold, New York, 1968
- 5) H.L.DRYDEN, F.D.MURNAGHAN and H.BATEMAN, Hydrodynamics, Dover Publications, New York, 1956
- 6) S.GOLDSTEIN, Modern Developments in Fluid Dynamics (2vol) Dover publications, New York, 1965
- * 7) L.SEDOV, Mécanique des Milieux Continus (Vol 2)? MIR, Moscú 1975 (versió russa 1974)
- 8) L.C.WOODS, The Thermodynamics of Fluid Systems, Clarendon Press, Oxford, 1975
- 9) R.J.SEEGER and G.TEMPLE (eds), Research Frontiers in Fluid Dynamics, Interscience Wiley, New York, 1965
- 10) G.BIRKHOFF, Hydrodynamics, 2nd ed, Princeton University Press 1960

Per a enginyers

- 11) R.W.FOX and A.T.MC DONNALD, Introduction to Fluid Mechanics, Wiley, New York, 1973.
- 12) I.H.SHAMES, La Mecánica de los fluidos, Del Castillo, Madrid, 1970 (versió anglesa 1962)

Per a la part A

- 13) S.R.DE GROOT and P.MAZUR, Non-Equilibrium Thermodynamics, North-Holland, Amsterdam, 1962.
- 14) I.GYARMATI, Non Equilibrium Thermodynamics, Springer Verlag, Berlin, 1970

Per a les parts B, C i F

- 15) J.SERRIN, Mathematical Principles of Classical Fluid Mechanics, Encyclop. of Physics, VIII/1, Flugge ed., Springer Verlag, Berlin, 1959
- 16) H.SCHLICHTING, Boundary layer theory, 6thed, McGraw-Hill, New York, 1968
- 17) L.HOWARTH, Laminar Boundary Layers, Encyclop. of Physics, VIII/1, Flugge Springer Verlag, Berlin, 1959

Per a la part D

- 18) H.S.CARSLAW and J.C.JAEGER, Conduction of Heat in Solids, 2nded, Clarendon, Oxford, 1959.

Per a la part E

- 19) S.CHANDRASEKHAR, Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability, Clarendon, Oxford, 1961
- 20) D.D.JOSEPH, Stability of Fluid Motions (2 vol), Springer Verlag, Berlin, 1976

Per a la part G

- 21) S.CHAPMAN and T.G.COWLING, The mathematical theory of non-uniform gases, 3rded, Cambridge Univ.Press, Cambridge, 1970
- 22) H.S.GREEN, The structure of liquids, Encyclop. of Physics, X, Flugge ed., Springer Verlag, Berlin, 1960

Per a la part H

- 23) C.C.LIN and W.H.REID, Turbulent flow.Theoretical aspects., Encyclop.of Physics, VIII/2, Springer Verlag, Berlin, 1963

Per a la part I

- 24) C.TRUESELL, Rational Thermodynamics, McGraw-Hill, New York, 1969
- 25) G.ASTARITA and G.MARRUCCI, Principle of Non-Newtonian Fluid Mechanics, McGraw Hill, New York, 1974
- 26) C.TRUESELL, The non-linear field theories of Mechanics, Encyclop.of Physics, III/3, Flugge ed., Springer Verlag, 1970
- 27) B.D.COLEMAN, H.MARKOVITZ and W.NOLL, Viscometric flows of non-Newtonian fluids, Springer Verlag, New York, 1966
- 28) R.M.CHRISTENSEN, Theory of Viscoelasticity, Academic Press, New York, 1971

Per a la part J

- 29) L.D.LANDAU and E.M.LIFSHITZ, Electrodynamique des milieux continus, MIR, Moscú, 1969
- 30) T.G.COWLING, Magnetohidrodinámica, Alhambra, Madrid, 1968
- 31) N.A.KRALL and A.W.TRIVELPIECE, Principles of Plasma Physics, McGraw-Hill, New York, 1973

Per a la part K

- 32) K.MENDELSSOHN, Liquid Helium, Encyclop.of Physics, Flugge ed. XV, Springer Verlag, Berlin ,1956

Per a la part L

- 33) S.ESQUINAZI, Fluid Mechanics and Thermodynamics of our Environment, Academic Press, New York, 1975
- 34) H.U.SVERDRUP, Oceanography, Encyclop.of Physics, Flugge ed., Springer Verlag, Berlin, 1957
- 35) M.H.WRUBEL, Stellar interiors, Encyclop.of Physics, Flugge ed Springer Verlag, Berlin, 1958

Per a la part N

- 36) S.ONO, Molecular Theory of Surface Tensions in Liquids, Encyclop.of Physics, Flugge ed., X, Springer Verlag, Berlin, 1960

Per a la part O

- 37) P.G.DE GENNES, The Physics of Liquid Crystals, Clarendon Press, Oxford, 1974