

Η Ρευστομηχανική από τον Αρχιμήδη μέχρι σήμερα ...

μια σύντομη ιστορική αναδρομή

Μιχαήλ Ξένος

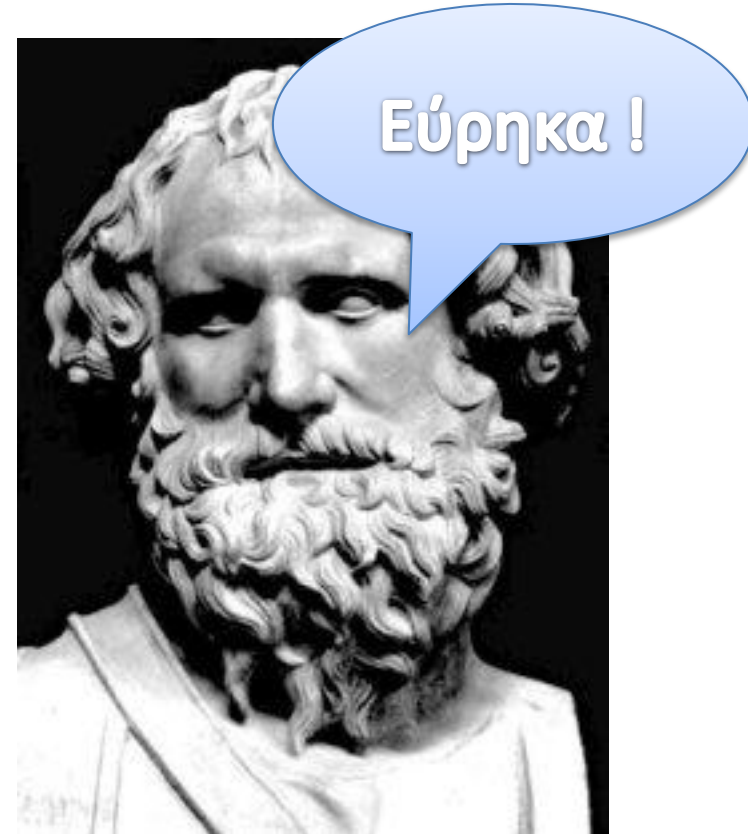
Επικ. Καθ. Τμήμα Μαθηματικών,
Τομέας Εφαρμοσμένων Μαθηματικών
και Μηχανικής Έρευνας

Τα αρχαία χρόνια και ο Αρχιμήδης

- Πρώτες γνώσεις από τους **Αιγύπτιους**, 3000 πχ.

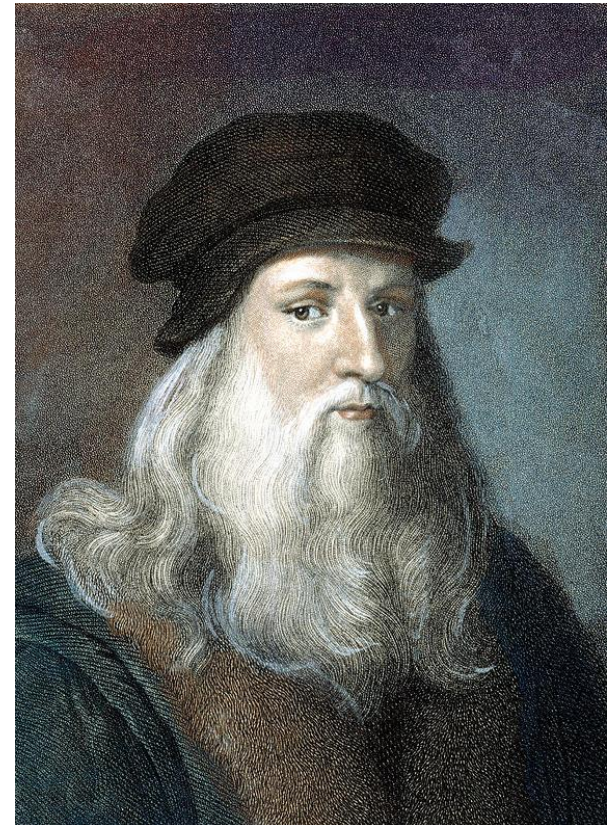
- **Αρχιμήδης** (287-212 π.Χ.):
«Στατική των Ρευστών»

Για πρώτη φορά εισάγεται
η έννοια της πίεσης!



Μεσαίωνας, Αναγέννηση και ο Leonardo da Vinci

- Στον **μεσαίωνα** δεν υπάρχει ουσιαστική εξέλιξη!
- Αναγέννηση, ο **Leonardo da Vinci** (1452 - 1519) συμπληρ. τις έννοιες της πίεσης και στατικής, ασχολείται με την αεροδυναμική.

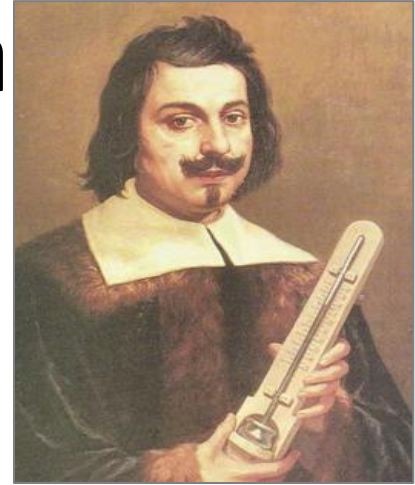


Τα σχέδια του da Vinci



Δέκατος έβδομος αιώνας

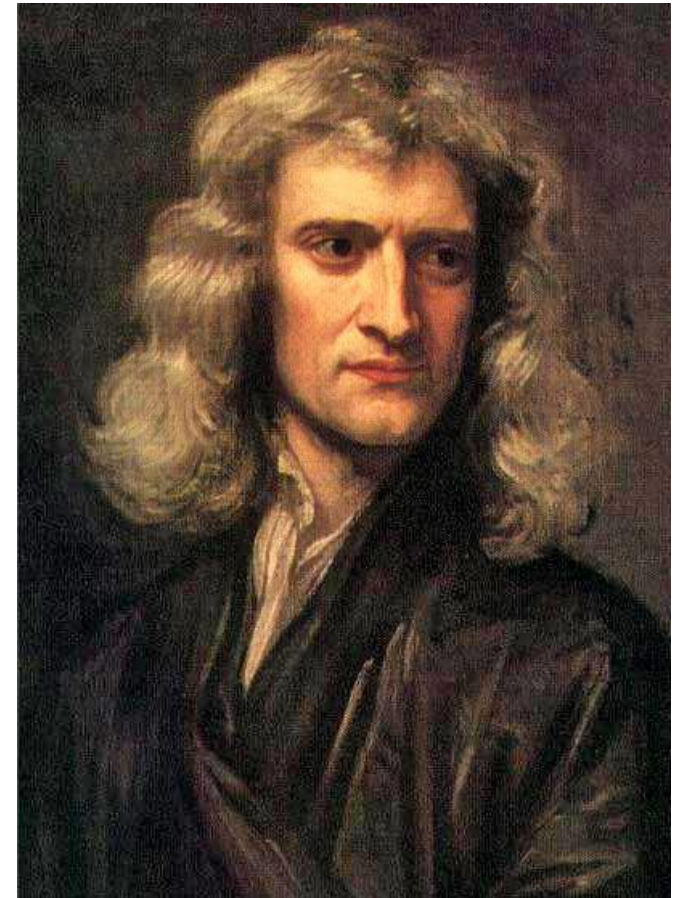
- **Torricelli** (1608 - 1647), βασική θεμελίωση της Μηχανική των Ρευστών, πίεση, στατική, κινηματική.
- **Pascal** (1623 - 1662), συνεχίζει το έργο του Torricelli και ασχολείται με την συμπίεστικότητα του αέρα.
- **Boyle** (1627 - 91) – **Mariotte** (1620 - 84), συνεχίζουν της εργασία πάνω στην συμπίεστικότητα του αέρα.



Δέκατος έβδομος αιώνας και Κλασική Μηχανική

- **Ισαάκ Νεύτωνας** (1642 - 1727),
θεμελιώνει την Μηχανική και
εισάγει τον πειραματικό νόμο
της τριβής και την έννοια του
ιξώδους.

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy}$$



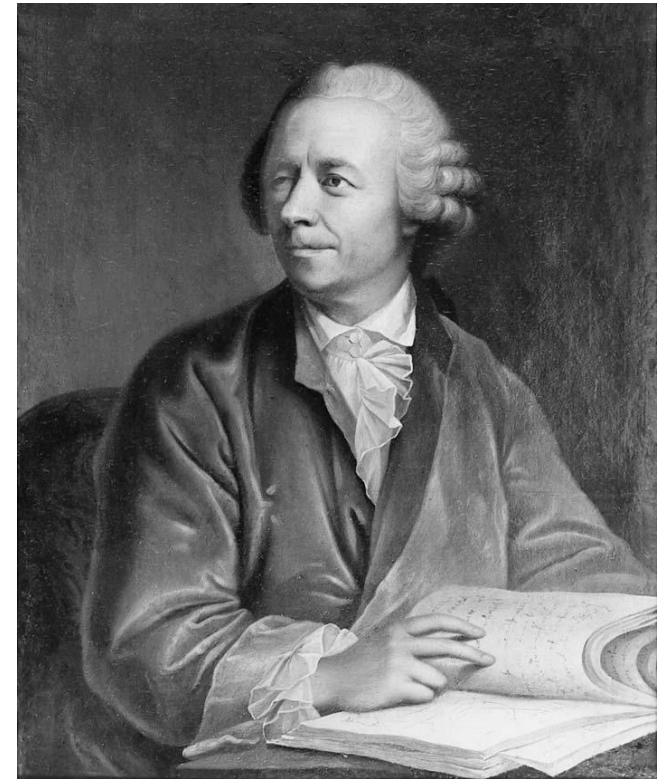
Δέκατος όγδοος αιώνας

- **Daniel Bernoulli** (1700 - 1782),
θεώρημα Bernoulli, αρχή
διατήρησης της ενέργειας στα
ρευστά.
- **Jean le Rond d'Alembert** (1717 -
1783), διατύπωσε το παράδοξο
του d'Alembert και εισήγαγε την
αρχή διατήρησης της μάζας
(εξίσωση συνέχειας – continuity).



Δέκατος όγδοος αιώνας, ιδανικά ρευστά

- **Leonhard Euler** (1707 - 1783), διατύπωσε τις εξισώσεις κίνησης για *ιδανικά ρευστά* και ανέπτυξε την μαθηματική θεωρία γι' αυτά.



Την εργασία του συνέχισε
ο **Joseph-Louis Lagrange**
(1736 - 1813).

Δέκατος όγδοος αιώνας, υδροδυναμική, πραγματικά ρευστά

- **Navier** (1783 - 1836) και **Stokes** (1819 - 1903)

Διατυπώνουν τις εξισώσεις κίνησης πραγματικών ρευστών, **εξισώσεις Navier-Stokes** και θεμελιώνουν την σύγχρονη υδροδυναμική (hydrodynamics).



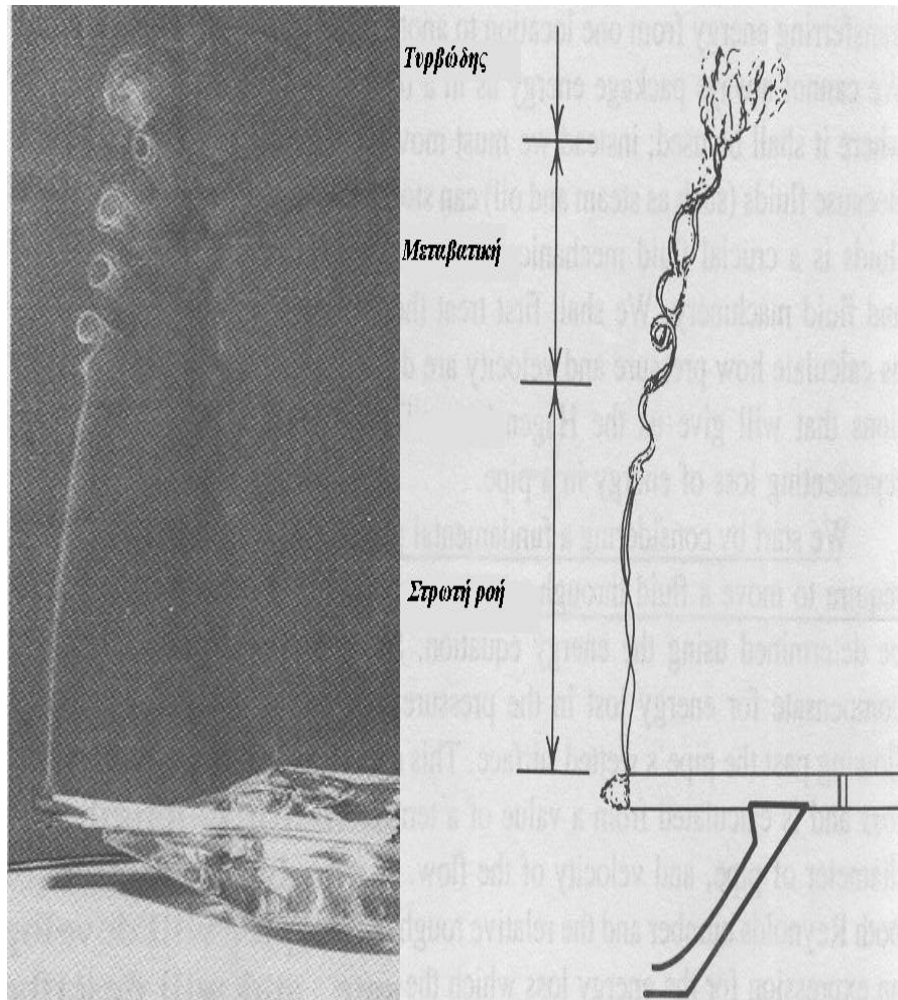
Δέκατος ένατος αιώνας

- Rankine (1820 – 1872), Hugoniot (1851 – 1887)
Rankine–Hugoniot συνθήκες για κρουστικά κύματα,
Helmholtz (1821 - 1872), Kirchhoff (1824 -1887) και
Rayleigh (1842 - 1919).
- **Osborne Reynolds** (1842 - 1912),
κίνηση ιξώδους ρευστού,
στρωτή και τυρβώδης ροή,
αριθμός Reynolds



$$\text{Re} = \frac{ul\rho}{\mu} = \frac{\text{Δυνάμεις αδράνειας}}{\text{Δυνάμεις τριβής}}$$

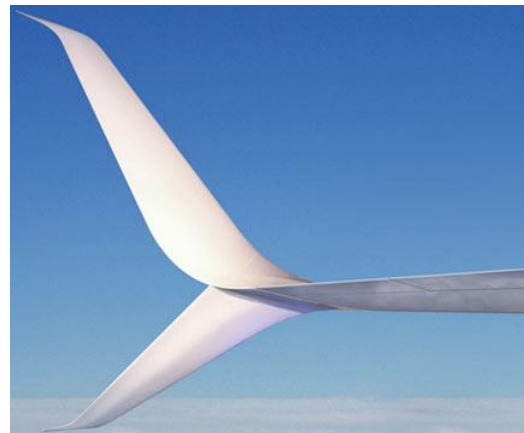
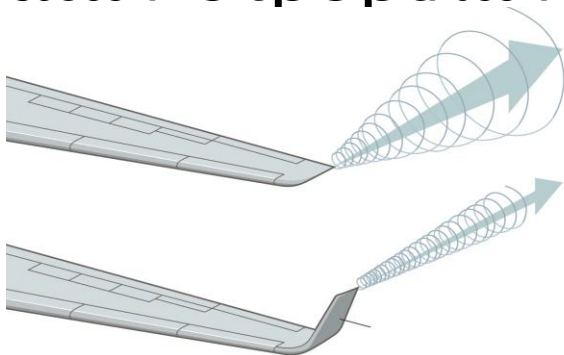
Στρωτή και τυρβώδης ροή



Μετάπτωση από στρωτή σε τυρβώδη ροή μέσα σε σωλήνα (το πείραμα του Reynolds)

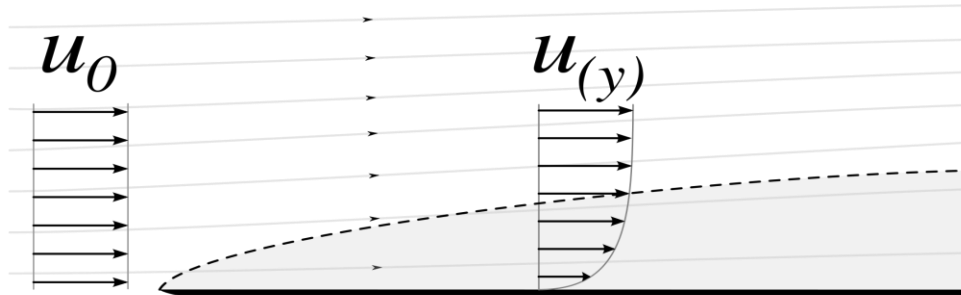
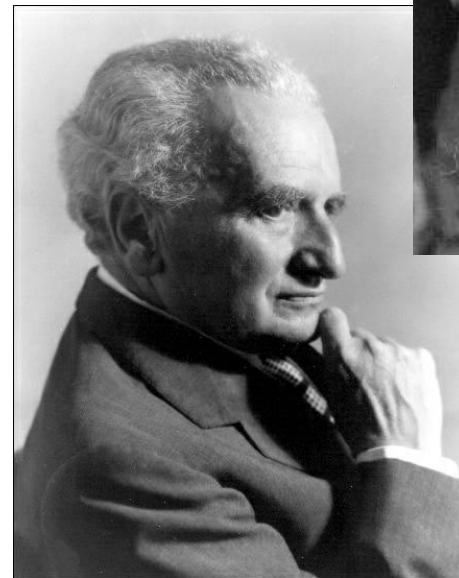
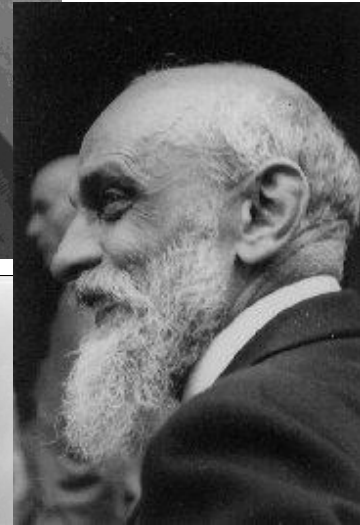
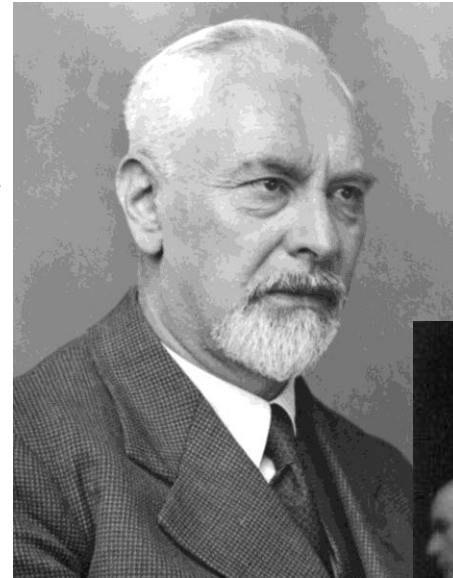
Δέκατος ένατος αιώνας - συνέχεια

- **Joukowski** (1847 - 1921), ανέπτυξε την θεωρία σχεδιασμού αεροτομών (airfoils).
- **Lanchester** (1868 - 1946), έννοια της κυκλοφορίας και έννοια των ακραίων στροβίλων.



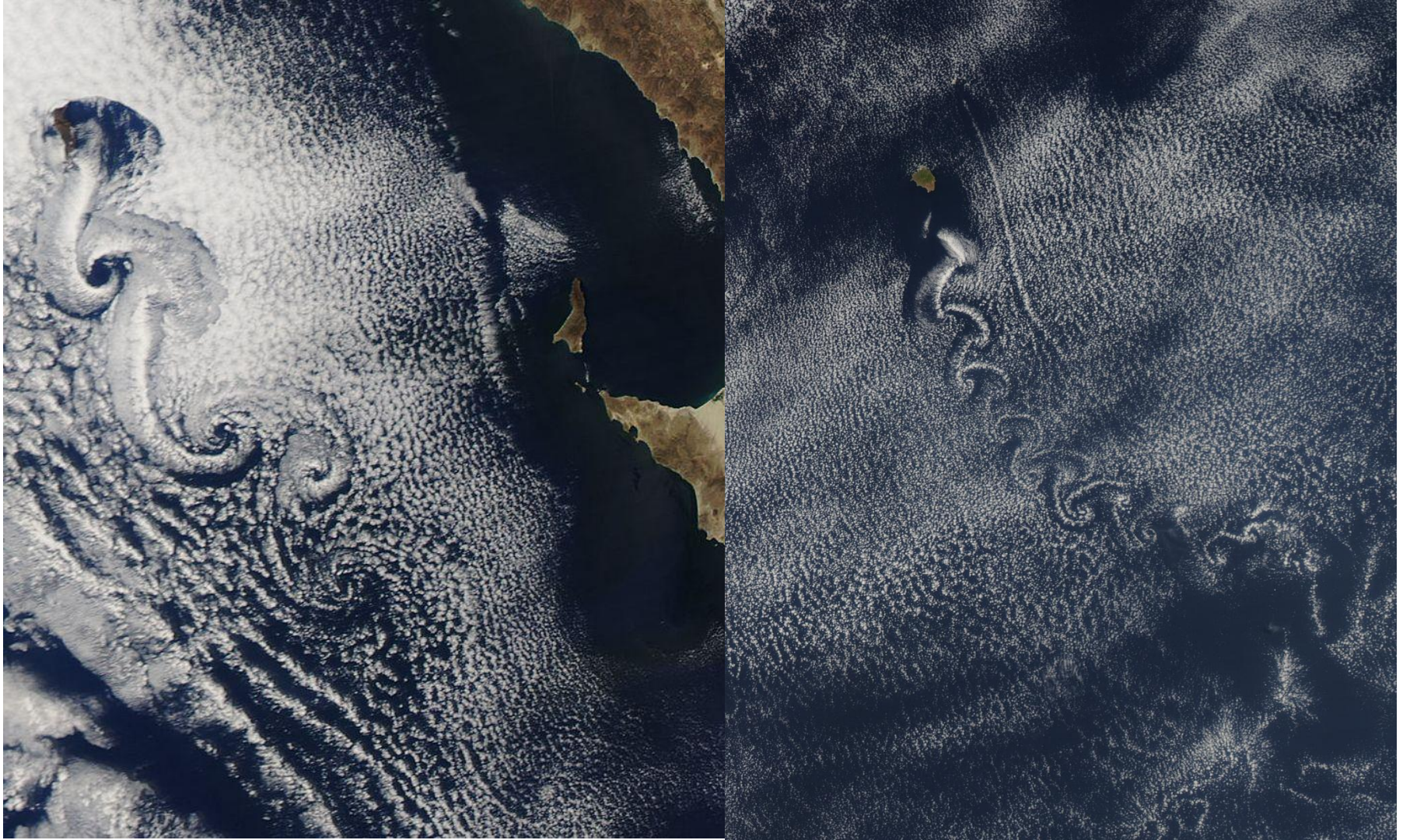
Νεώτερα χρόνια

- **Ludwig Prandtl** (1875 - 1953), εισαγωγή της έννοιας του *Οριακού Στρώματος* (*Boundary Layer*).
- **Paul Richard Heinrich Blasius** (1883–1970) θεμελιώνει την έννοια του οριακού στρώματος.



- **Theodore Von Karman** (1881 - 1963) μαθηματική περιγραφή της υπερηχητικής ροής αέρα.

Στρόβιλοι von Karman



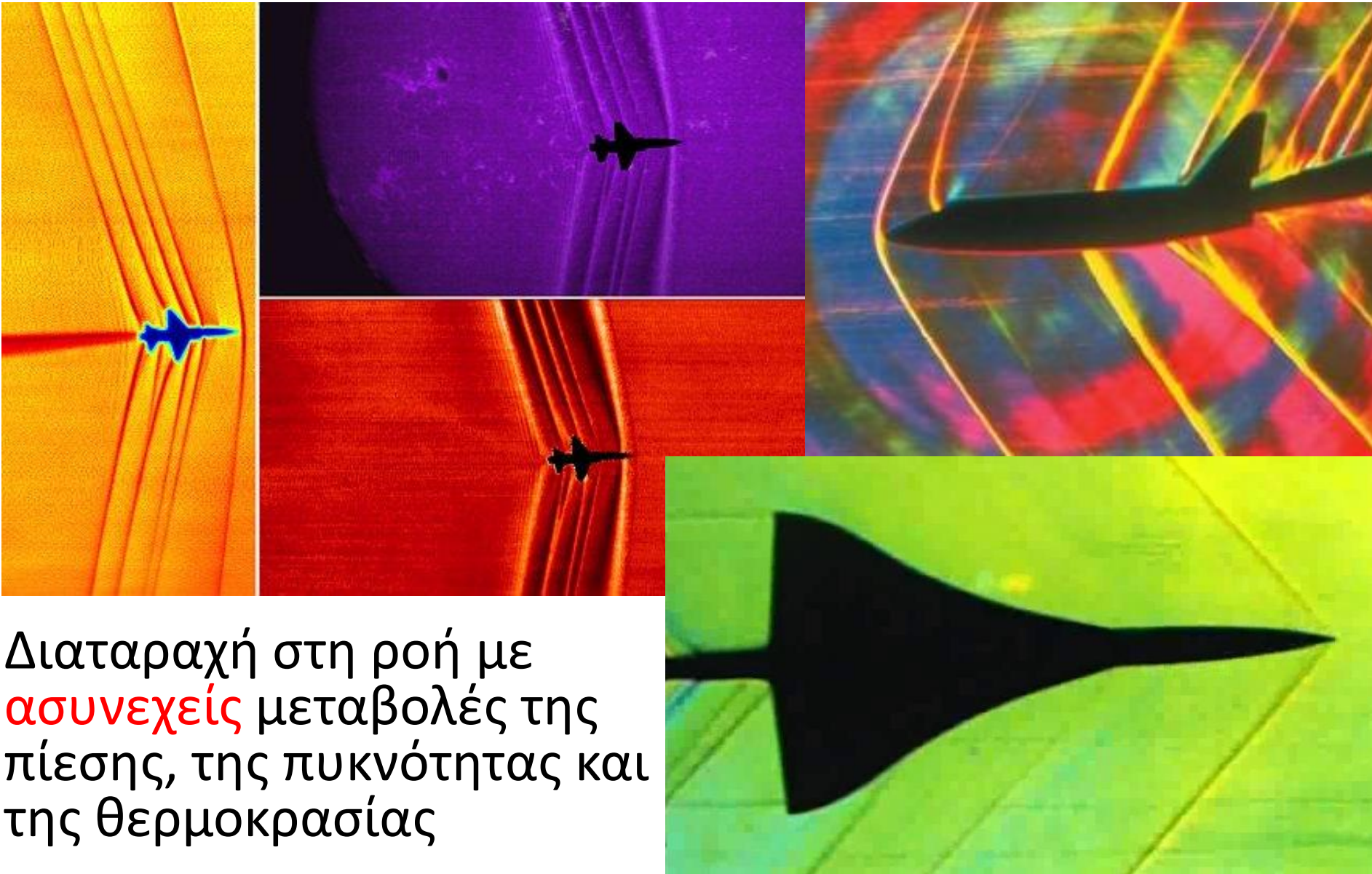
Προσομοίωση: <https://www.youtube.com/watch?v=JMtJZgGqJrQ>

Νεώτερα χρόνια συνέχεια ...

- **John von Neumann** (1903 –1957)
ευστάθεια αριθμητικών
μεθόδων για την επίλυση
χρονοεξαρτώμενων
προβλημάτων.
- **Peter David Lax** (1926 –)
κρουστικά κύματα, η τεχνική
που ανέπτυξε ονομάστηκε
«shock capturing»



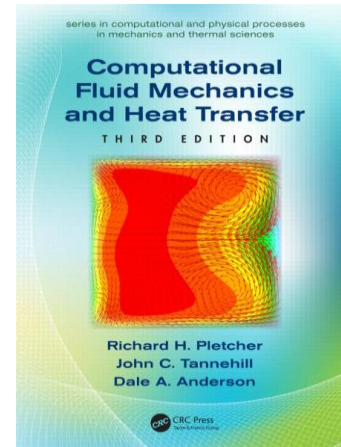
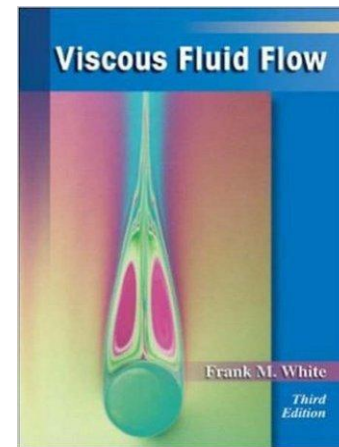
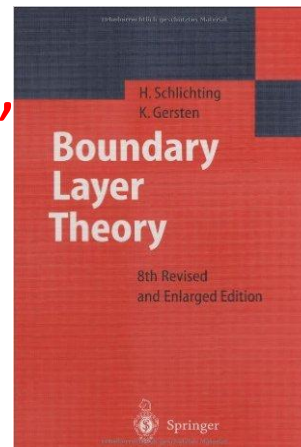
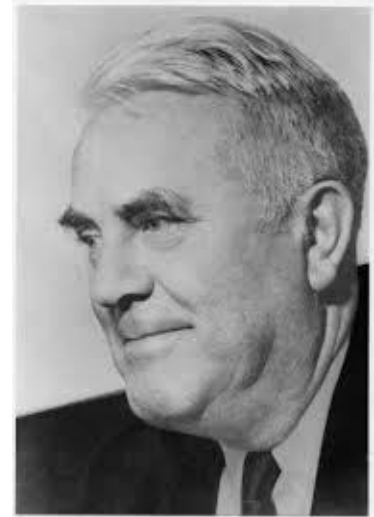
Κρουστικό κύμα - Shock wave



Διαταραχή στη ροή με
ασυνεχείς μεταβολές της
πίεσης, της πυκνότητας και
της θερμοκρασίας

Κάποια βιβλία ...

- **H. Schlichting, K. Gersten**, Boundary-Layer Theory, 8th Edition, Springer, 2000.
- **Frank White**, Viscous Fluid Flow, McGraw-Hill Education, 3rd Edition, 2005.
- **R.H. Pletcher, J. Tannehill, D.A. Anderson**, Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, 3rd Edition, CRC Press, 2013.



στο σήμερα ...

- Ραγδαία ανάπτυξη της Μηχανικής των Ρευστών, των Υπολογιστικών Μαθηματικών και των Η/Υ επιτρέπει τη στροφή του επιστημονικού ενδιαφέροντος προς την :

Υπολογιστική Ρευστοδυναμική,
Computational Fluid Dynamics (CFD)

Ανάπτυξη των υπολογιστικών Μαθηματικών και των Η/Υ – ένα απλό παράδειγμα



Το 1960 ο Η/Υ που προσεδάφισε την αποστολή Apollo στο φεγγάρι είχε 64 Kbyte μνήμη και ο επεξεργαστής του έτρεχε στα 0.043 MHz (43,000 clock cycles/s)

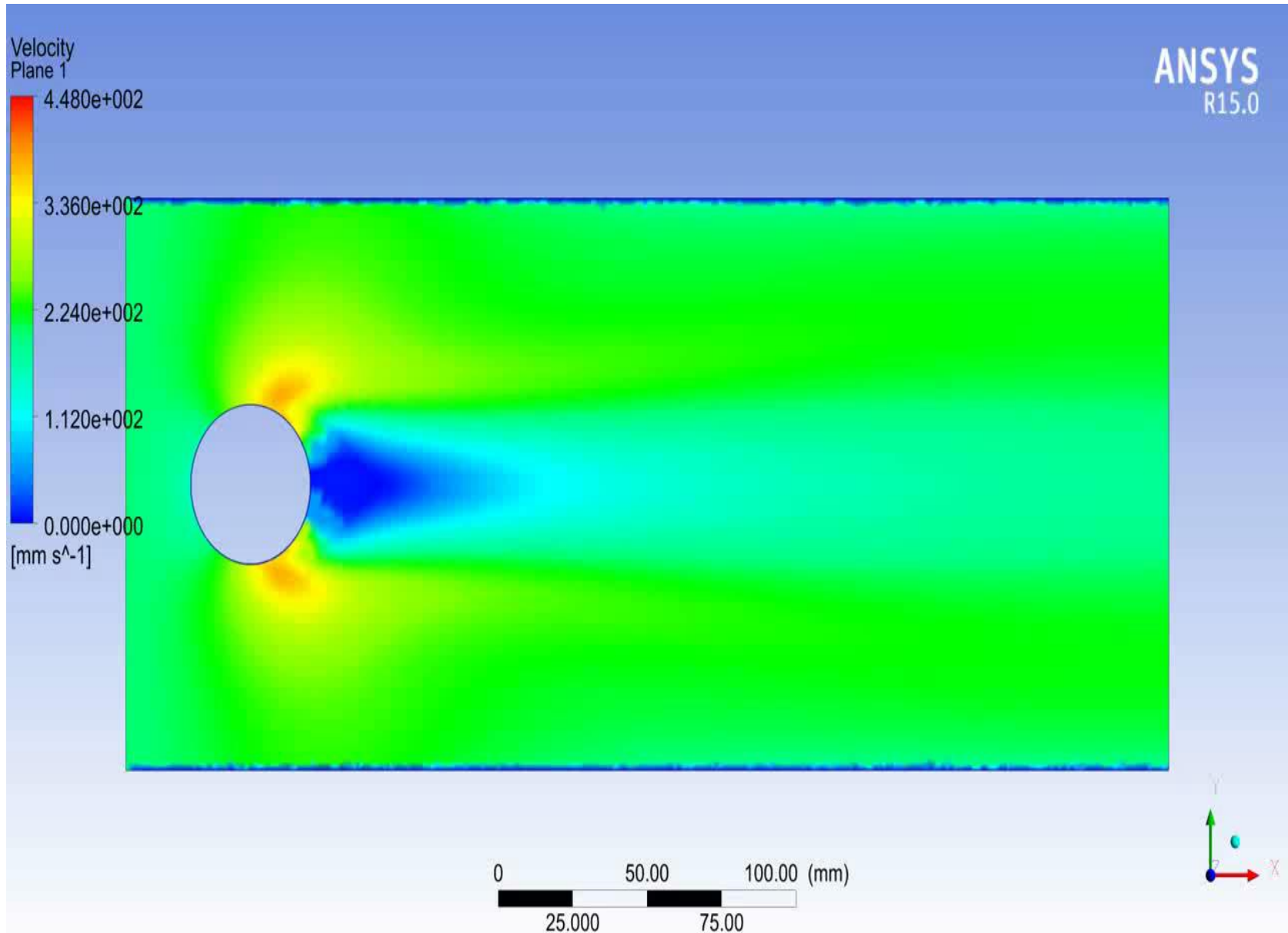
Το 2015 ένα smartphone έχει μνήμη 512 Mbyte/4Gbyte (RAM/ROM) και επεξεργαστή στα 1GHz (1,000,000,000 clock cycles/s)



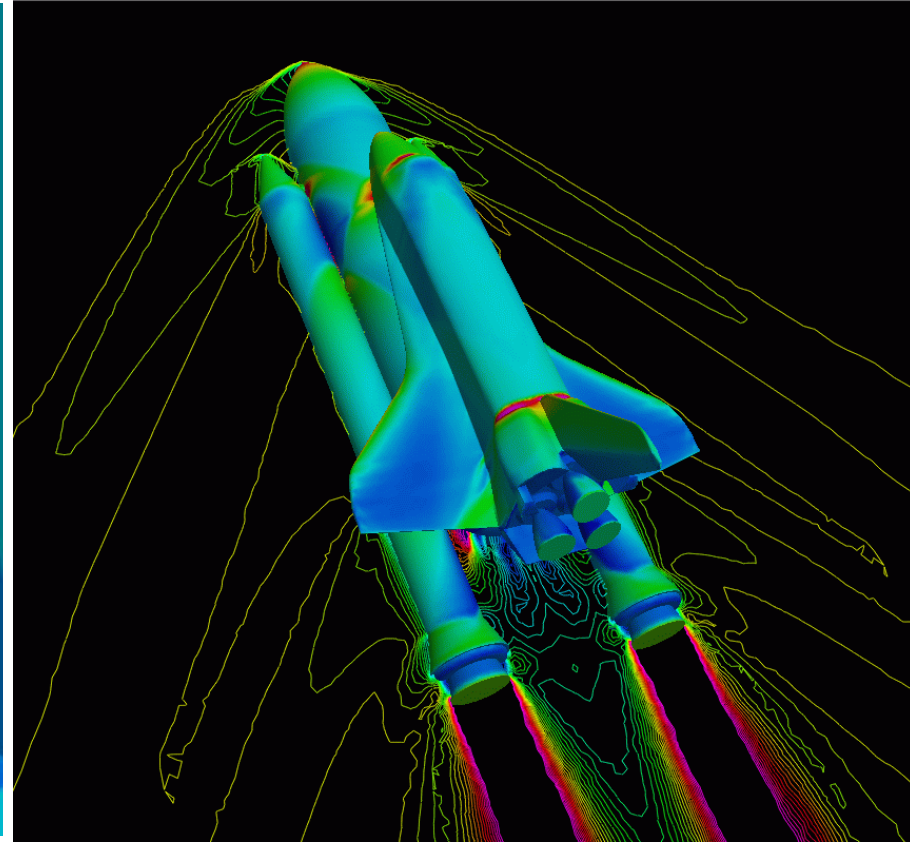
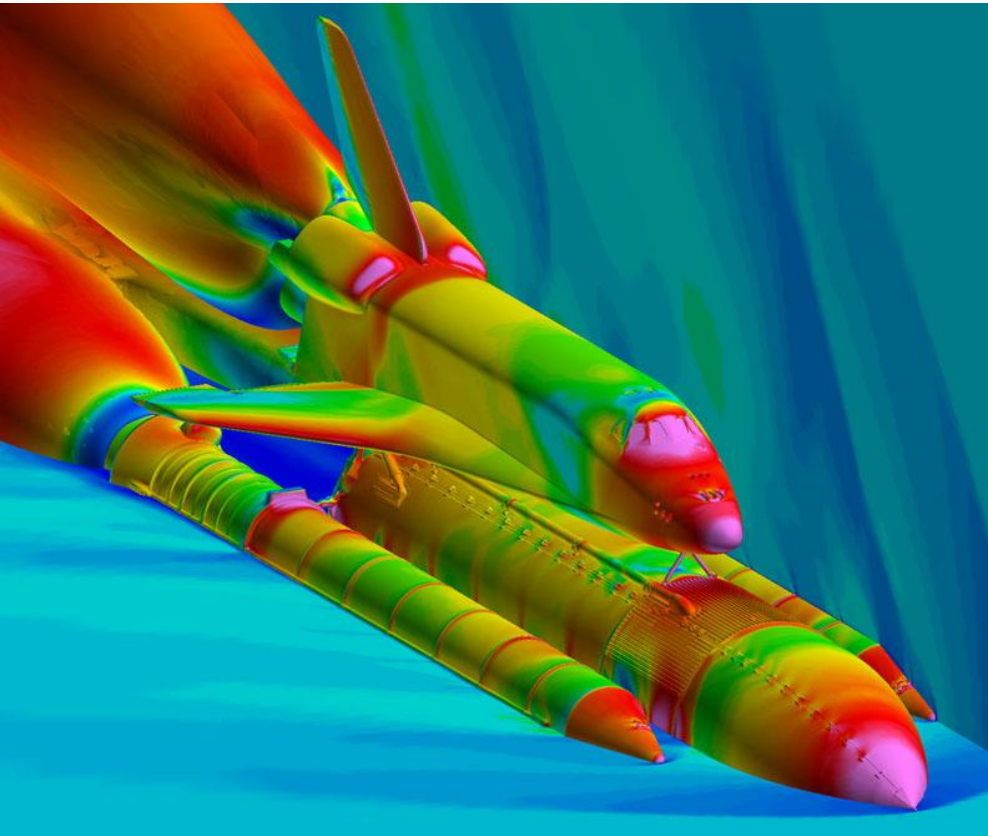
Υπολογιστική Ρευστοδυναμική

- Εισάγεται η έννοια της **προσομοίωσης** – simulation και η έννοια του **υπολογιστικού πλέγματος** – computational grid.
- Βρίσκει εφαρμογές της σύγχρονη αεροδυναμική, στην εμβιομηχανική, στη μαγνητοϋδροδυναμική και σε **πολλούς κλάδους της επιστήμης και της τεχνολογίας!**

Στρόβιλοι von Karman – προσομοίωση

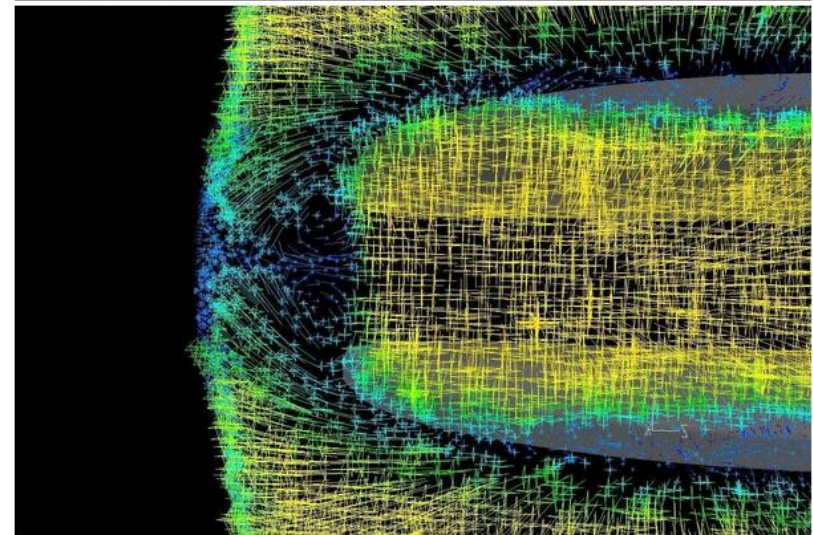
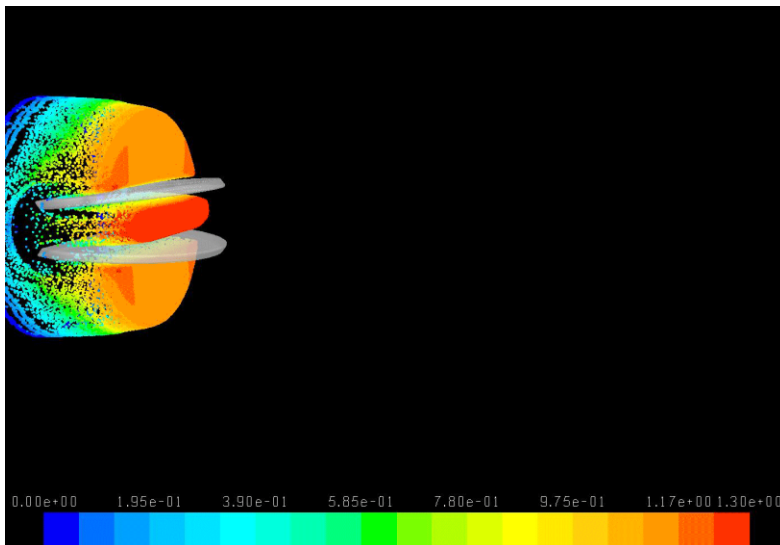
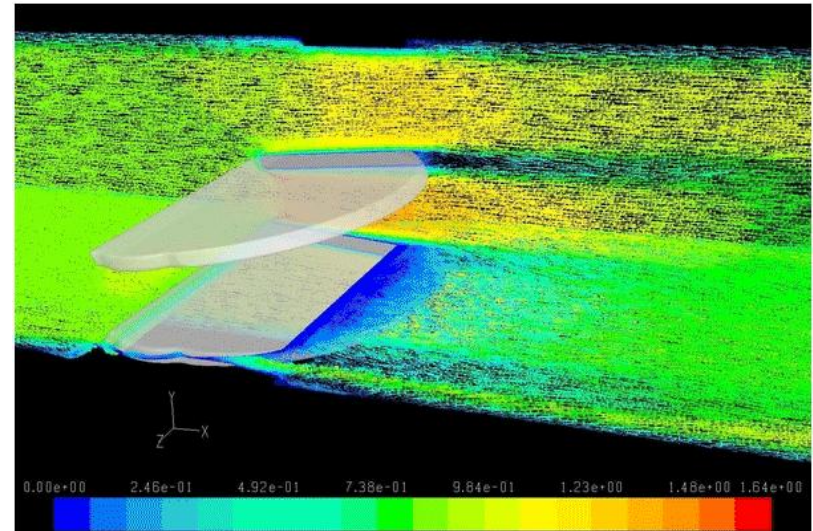
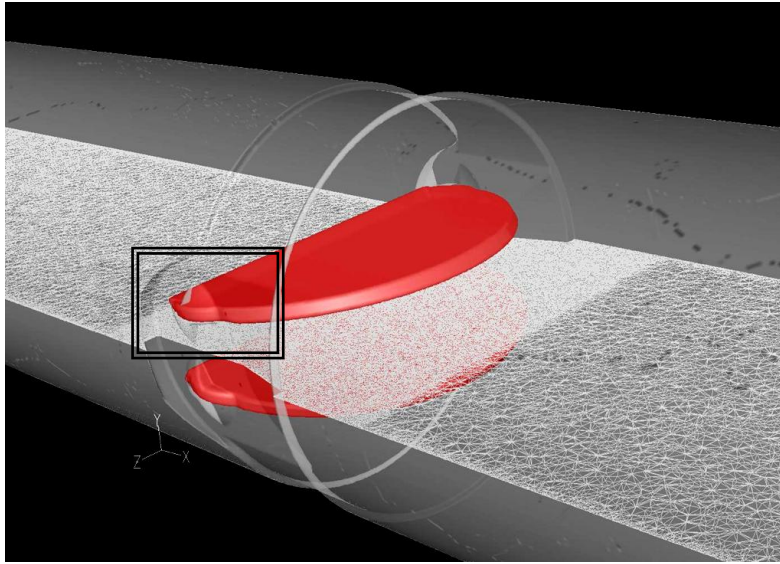


Προσομοίωση στην αεροδυναμική



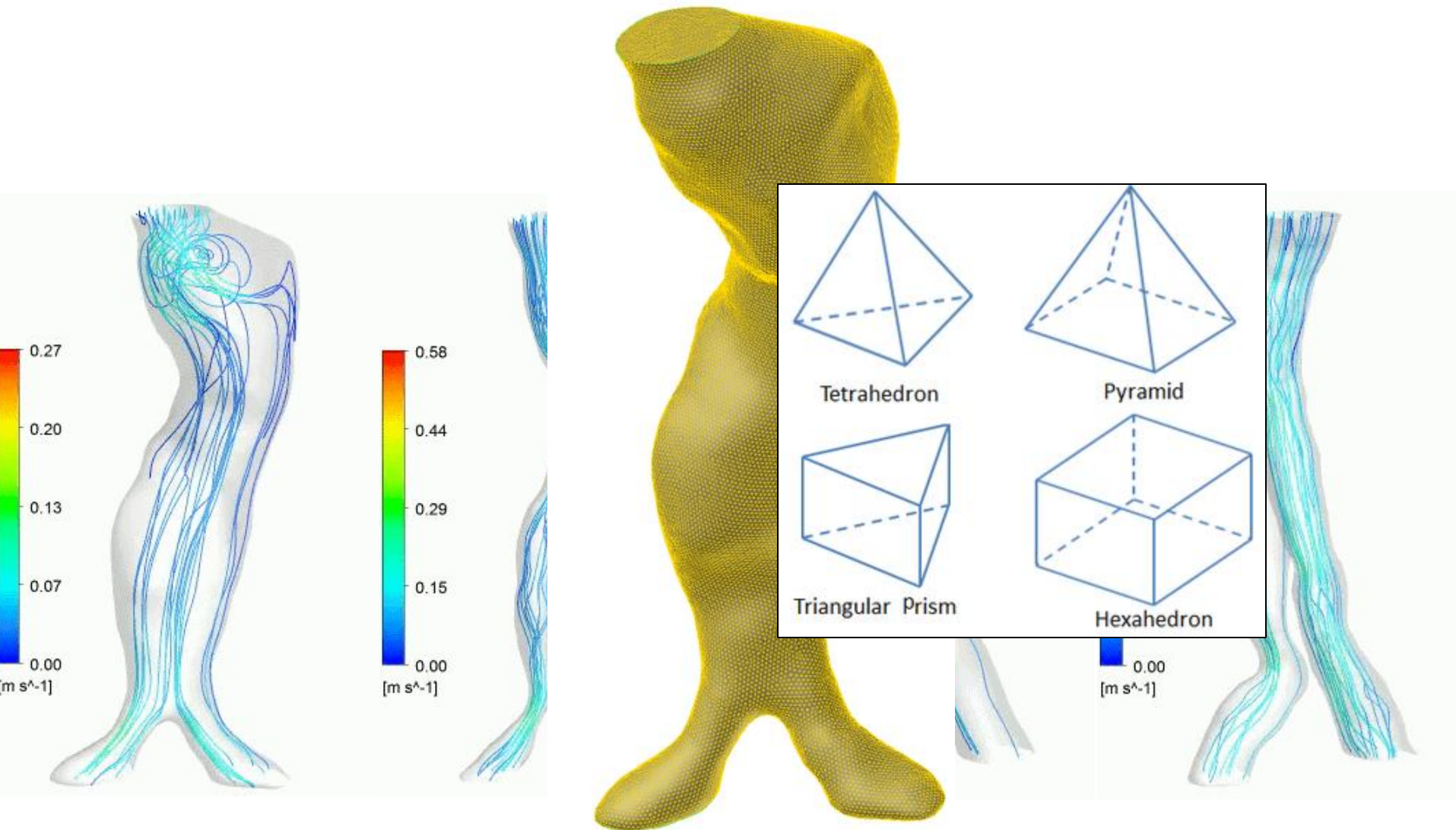
Κατανομή πίεσης και αριθμός Mach πάνω στο διαστημικό λεωφορείο (space shuttle)

Προσομοίωση στην εμβιομηχανική, μηχανικές αορτικές βαλβίδες



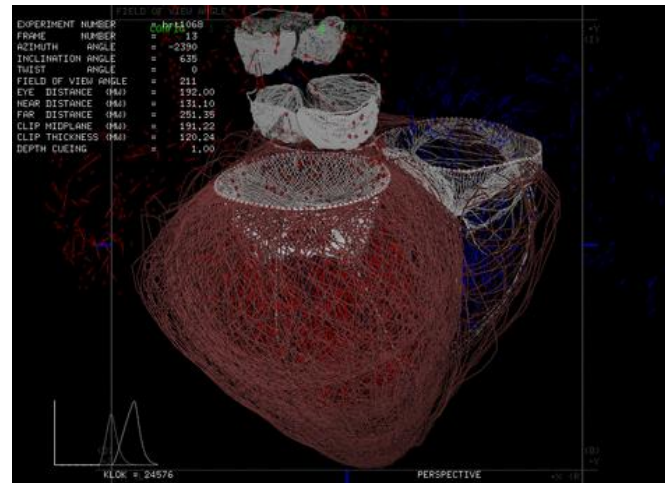
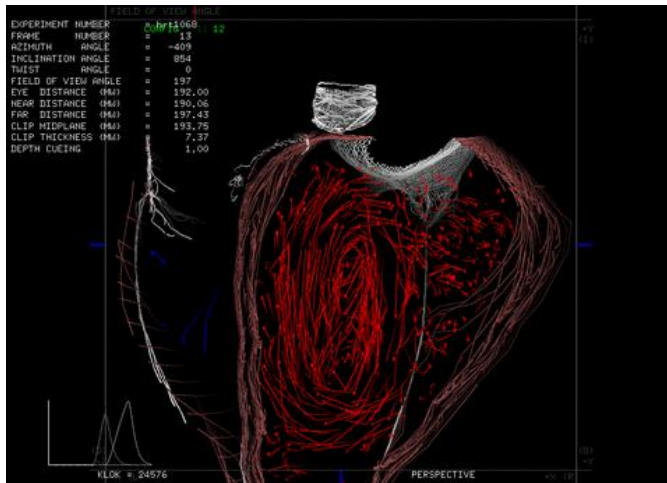
—, Bluestein et al, 2010, J. Biomechanics

Προσομοίωση στην εμβιομηχανική, ανεύρυσμα κοιλιακής αορτής



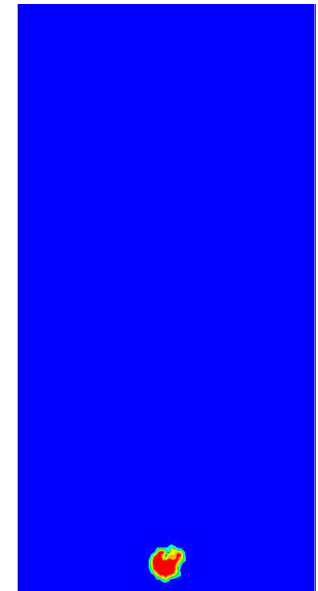
Μέθοδοι αλληλεπίδρασης Immersed Boundary Method (IBM)

Charles S. Peskin, NYU,
Courant Institute of Math Sciences



Προεκτάσεις της μεθόδου ...

VOF, Front Tracking Method

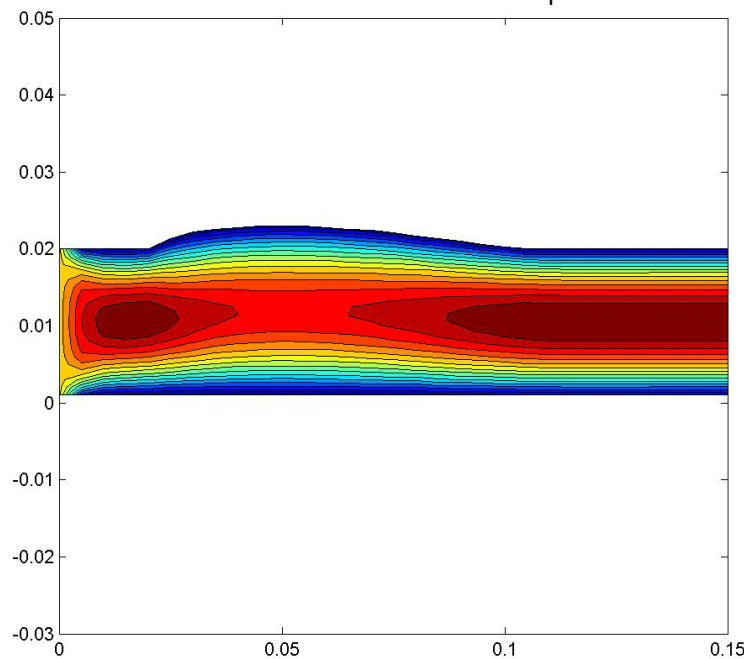
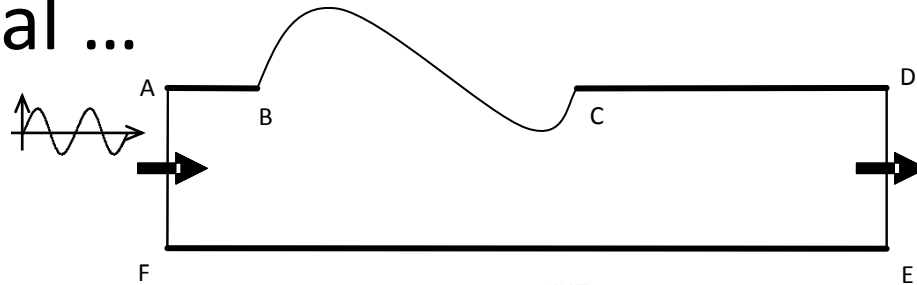


Bubble dynamics,
VOF method 25

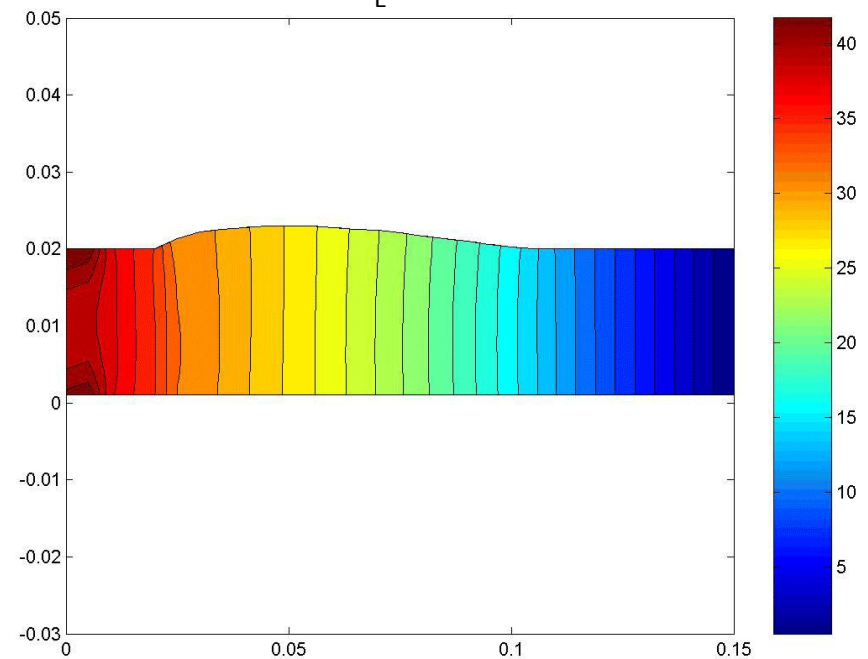
Μέθοδοι αλληλεπίδρασης ...

Sharp interface methods (ALE)

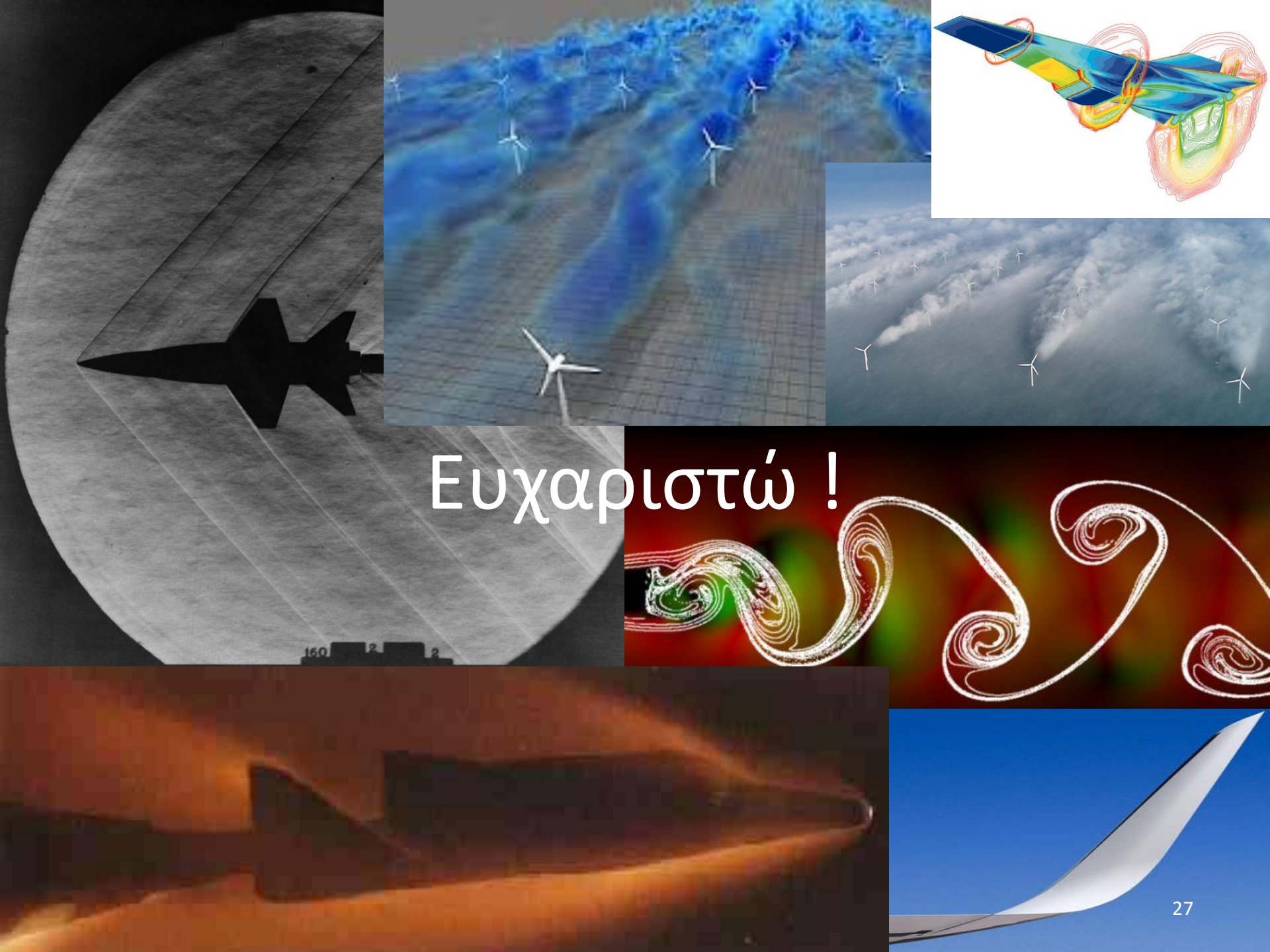
- Wei Shyy, H.S. Udaykumar, M.M. Rao, R.W. Smith, Rajat Mittal ...



Velocity magnitude (m/sec)



Pressure (Pa)



Ευχαριστώ !