

ΒΙΝΤΕΟ ΓΙΑ ΡΟΕΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΣΤΕΡΑ ΣΩΜΑΤΑ

ΒΙΝΤΕΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ C_D ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ REYNOLDS ΓΙΑ ΡΟΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΣΦΑΙΡΑ (ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΣ ΓΙΑ ΡΟΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΑΛΛΑ ΣΤΕΡΕΑ ΣΩΜΑΤΑ)

Ονομασία: 34 Re effect on C_D

<https://www.youtube.com/watch?v=Q5xwk24oblM>

2:08 Παρουσιάζεται η ροή γύρω από σφαίρα και γύρω από σώμα με αεροδυναμική συμπεριφορά. Το σώμα με αεροδυναμική συμπεριφορά έχει δημιουργηθεί από την συγκόληση μισής σφαίρας στα ανάντη (στο εμπρός του μέρος) και ενός επίμηκους σχήματος στα κατόντη. Το πίσω μέρος του σχήματος αυτού έχει διαμορφωθεί παίρνοντας υπόψη μας τις γραμμές ροής για τυρβώδη ροή γύρω από σφαίρα και στο οποίο έχει προστεθεί στερεός όγκος στο τμήμα στο οποίο για τυρβώδη ροή γύρω από σφαίρα θα σχηματιζόντουσαν δίνες (στροβίλοι) στις οποίες δημιουργείται χαμηλή πίεση. (Λόγω της διαφοράς της πίεσης ανάμεσα στα ανάντη και στα κατόντη ασκούνται, στην περίπτωση τυρβώδους ροής γύρω από σφαίρα, ισχυρές δυνάμεις). Αντίθετα για τυρβώδη ροή γύρω από ένα αεροδυναμικό σχήμα δεν έχουμε δημιουργία εκτεταμένων στροβίλων ούτε και ζώνης ιδιαίτερα χαμηλών πιέσεων, οπότε οι δυνάμεις οι οποίες ασκούνται σε αυτό είναι μικρότερες, για την περίπτωση τυρβώδους ροής, από ότι σε μία σφαίρα. Όπως αναφέρεται και στο βίντεο για να δημιουργήσουμε ένα αεροδυναμικό σώμα, πρέπει να τροποποιήσουμε το κατόντη (πίσω) μέρος του, ώστε να περιοριστεί η δημιουργία δινών και οι ζώνες με χαμηλή πίεση.

Όπως αναφέρεται και στο βίντεο για μία τιμή του αριθμού Reynolds $Re=10^5$ (η οποία αντιστοιχεί σε πλήρως τυρβώδη ροή) ο συντελεστής αεροδυναμικής (ή υδροδυναμικής) αντίστασης για την περίπτωση της σφαίρας είναι $C_D=0,5$ ενώ για ροή γύρω από αεροδυναμικό σχήμα (του οποίου το ανάντη μέρος θα έχει σχήμα μισής σφαίρας, ίδια με αυτήν που αναφέραμε προηγουμένως) θα έχουμε μία τιμή $C_D=0,04$. Δηλαδή η δύναμη η οποία θα ασκείται από την ροή στην σφαίρα θα είναι παραπάνω από δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτήν η οποία θα ασκείται στο αντίστοιχο σώμα αεροδυναμικού σχήματος.

4:07 Παρουσιάζεται η εξάρτηση του συντελεστή C_D από τον αριθμό Reynolds (Re) τόσο για ροή γύρω από σφαίρα, όσο και για ροή γύρω από κύλινδρο. (Παρατηρούμε ότι υπάρχουν αντιστοιχίες ανάμεσα στις δύο καμπύλες). Σε πρώτη φάση θα εξεταστεί στο βίντεο η

περίπτωση χαμηλών τιμών του αριθμού Reynolds ($Re < 1$), περίπτωση κατά την οποία η ροή είναι έρπουσα (creeping flow), δηλαδή οι δυνάμεις αδράνειας είναι αμελητέες σε σχέση με τις δυνάμεις ιξώδους.

4:27-6:04 Για ροή γύρω από σφαίρα και για έρπουσα ροή έχουμε συμμετρία των γραμμών ροής ανάντη και κατάντη της σφαίρας και δεν παρουσιάζεται αποκόλληση των γραμμών ροής και δημιουργία δινών στα κατάντη. Οι διαφορές της πίεσης παίζουν μικρό ρόλο στην δύναμη η οποία ασκείται στο στερεό σώμα.

Επίσης (για έρπουσα ροή) ο συντελεστής αντίστασης C_D είναι αντιστρόφως ανάλογος της τιμής του αριθμού Reynolds

Αντίθετα, όπως αναφέρεται και στο βίντεο, η δύναμη η οποία ασκείται στην σφαίρα αυξάνει όπως αυξάνει η τιμή του αριθμός Reynolds (η αντίστοιχα η ταχύτητα ανα εξετάζουμε πάντα την ίδια σφαίρα).

Πράγματι η δύναμη F_A η οποία ασκείται από την ροή σε ένα στερεό σώμα μπορεί να περιγραφεί από την σχέση:

$$F_A = \frac{1}{2} C_D S \rho (U_o)^2$$

Ή ισοδύναμα

$$F_A = \frac{1}{2} C_D A \rho U^2$$

Όπου ρ η πυκνότητα του ρευστού, S ή A το εμβαδόν της διατομής του στερεού το οποίο είναι κάθετο στην ροή και U_o ή U μία μέση τιμή του πεδίου ταχυτήτων μακριά ανάντη από την σφαίρα.

Πράγματι, παίρνοντας υπόψη μου ότι για την περίπτωση έρπουσας ροής γύρω από την σφαίρα ισχύει η σχέση (βλ. και 4:19 του βίντεο):

$$C_D = \frac{24}{Re}$$

Παίρνοντας υπόψη μου, εκτός από τον παραπάνω ορισμό του συντελεστή αντίστασης, και τον ορισμό του αριθμού Reynolds προκύπτει (για έρπουσα ροή γύρω από σφαίρα) η σχέση:

$$F_A = 6R\pi\mu U_0$$

Όπου μ είναι το δυναμικό ιξώδες του ρευστού το οποίο ρεεί γύρω από την σφαίρα και R είναι η ακτίνα της σφαίρας

6:23 Όπως παρουσιάζεται στο βίντεο, αντίστοιχες σχέσεις με αυτήν που παρουσιάσκαν πριν, δεν ισχύουν μόνο για έρπουσα ροή γύρω από σφαίρα, αλλά και για έρπουσα ροή γύρω έναν αριθμό άλλων σωμάτων (τα οποία παρουσιάζονται στο βίντεο)

Γενικά ισχύει η σχέση:

$$C_D = \frac{C}{\text{Re}}$$

Όπου C είναι μία σταθερά η οποία εξαρτάται από το σχήμα του στερεού σώματος (για σφαίρα, όπως αναφέρθηκε, C=24)

7:31 Για τιμή του αριθμού Reynolds γύρω στο 10 η ροή είναι στρωτή αλλά όχι έρπουσα και παραμένει μόνιμη. Στο κατάντη μέρος της σφαίρας δημιουργούνται δίνες (στρόβιλοι). Στην περιοχή αυτή η πίεση είναι χαμηλότερη από ότι στην υπόλοιπο χώρο στον οποίο λαμβάνει χώρα η ροή. Μία διαμόρφωση του σχήματος για αυτόν τον τύπο ροής θα ελάττωνε την τιμή του συντελεστή συντελεστή αντίστασης C_D

10:02 Για Re περίπου ίσο με 10^4 έχω τυρβώδη ροή με στρωτή οριακή στιβάδα

Ονομασία: 8.2 to 8.5 Flow at different Reynolds numbers

<https://www.youtube.com/watch?v=vV5cJt3TP7I>

0:00-0:0:14 Για να έχουμε συνθήκες έρπουσας ροής στην πράξη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σαν ρευστό λάδι

1:42 Περιγραφή των δυνάμεων ιξώδους και πίεσης. Για έρπουσα ροή (*creeping flow*) οι δυνάμεις αδράνειας είναι αμελητέες. Επίσης όταν η ροή είναι μόνιμη οι παράγωγοι ως προς το χρόνο μπορούν να παραληφθούν.

2:39 Όπως και για την περίπτωση έρπουσας ροής ανάμεσα σε δύο πλάκες (ροή Hele-Shaw) μπορεί να βρεθεί η αναλυτική λύση για έρπουσα ροή γύρω από σφαίρα (είναι όμως εκτός ύλης). Μπορούν να βρεθούν αναλυτικές εκφράσεις για το πεδίο των ταχυτήτων, αλλά και για την δύναμη η οποία ασκείται από την ροή απάνω στην σφαίρα. Όπως φαίνεται στο

βίντεο, παίρνοντας υπόψη μου τον ορισμό του συντελεστή αντίστασης C_D την αναλυτική έκφραση για την δύναμη, αλλά και τον ορισμό του αριθμού Reynolds, μπορώ να βρω την προαναφερθείσα σχέση ανάμεσα στο C_D και στον Reynolds $C_D = 24 / Re$

3:02 Για ροή γύρω από σφαίρα και για $Re=100$ εμφανίζονται δύο στρόβιλοι στα κατάντη

3:42 Στο τμήμα της σφαίρας το οποίο έρχεται σε επαφή με τους στρόβιλους / δίνες (δηλαδή το κατάντη τμήμα) έχουμε χαμηλότερη πίεση από ότι στα ανάντη. Λόγω αυτής της διαφοράς της πίεσης έχω μία ισχυρή δύναμη η οποία ασκείται λόγω της ροής απάνω στην σφαίρα.

4:01-4:25 Όταν οι δυνάμεις της πίεσης γίνονται σημαντικές (βλ. 3:42) έχω αποκλίσεις από την σχέση $C_D = 24 / Re$ η οποία ισχύει για έπυσα ροή

4:32 -5:08 Για τιμές ανάμεσα σε $Re=1000$ και $Re=200000$ (για τις οποίες η ροή είναι τυρβώδης) το σημείο αποκόλλησης της οριακής στιβάδας είναι σταθερό και η τιμή του συντελεστή αντίστασης C_D είναι περίπου σταθερή $C_D \cong 0.4$

5:34-6:08 Για τιμές του αριθμού Reynolds μεγαλύτερες από $Re=200000$ η οριακή στιβάδα γίνεται τυρβώδης και το σημείο της αποκόλλησης κινείται προς τα κατάντη. Κατά συνέπεια η περιοχή με την ανακυκλοφορία δινών και την χαμηλή πίεση γίνεται μικρότερη (βλ. 6:08), όπως μικρότερος γίνεται και ο συντελεστής αντίστασης C_D (όχι όμως απαραίτητα και η δύναμη η οποία ασκείται στην σφαίρα)

7:04 Η περιοχή στην οποία ελαττώνεται η τιμή του συντελεστή αντίστασης στο διάγραμμα $Re - C_D$

Tacoma Bridge

<https://www.youtube.com/watch?v=3mclp9QmCGs>

1:02-4:14 Δημιουργούνται ταλαντώσεις λόγω του φαινομένου του **συντονισμού** μεταξύ της συχνότητας αποκόλλησης των δινών -στρόβιλων (και της αντίστοιχης συχνότητας των δυνάμεων οι οποίες ασκούνται από τη ροή στην γέφυρα) και της ιδιοσυχνότητας της γέφυρας