

# הפיסיקה של סירת המפרש





# שאלה: האם סירת מפרש יכולה להפליג מהר יותר מהרוח שמניעה אותה?



# איך סירת מפרש "עובדת"

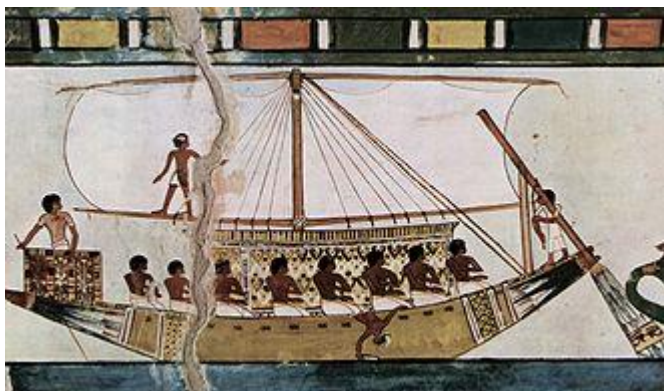
\* מהם הכוחות הפועלים על הסירה?

\* מהם הכוחות שהרוח מפעילה על הסירה?

\* מהם הכוחות שהמים מפעילים על הסירה?



# קצת היסטוריה



\* עדויות ראשוניות לשימוש בכח הרוח כמניע כלי שיט נמצא על גבי ציורי כדים מאזור מספוטמיה (דרום איראן- צפון עיראק של היום) שמתוארכים ל 6000-4300 BCE

\* למפרש צורה מרובעת, בצורה הזאת –

## הרוח דוחפת את הסירה

\* מפרש זה מאפשר להפליג לאן שהרוח נושבת ושימשה להפלגה למרחקים קצרים, במעלה נהרות (נגד הזרם) ובאזורים בהם משטר הרוחות "ידוע" ומאפשר הפלגה בשני בכיוונים



## היסטוריה (2)

3000 עד 1500 לפני הספירה, העמים אוסטרונאיים (Austronesian) דרום סין - טייוואן שכללו את צורת המפרש לצורת משולש (Crab claw sail).



\* צורת מפרש זאת מאפשרת להפליג גם "מול הרוח" ובכך פתחה בפניהם את האפשרות לצאת לים הפתוח ולהתפשט לכל דרום מזרח אסיה (טייוואן, מיקרונזיה, ברוניי, אינדונזיה, מלזיה, פיליפינים, פולינזיה ועד מדגסקר).

\* מחקרים שנעשו בעשורים האחרונים בדקו והשוו (במנהרת רוח) את יעילות המפרש הזה למפרשים מודרניים והופתעו ממידת יעילותם

\* גוף הסירה (catamarans, outriggers) היה גם הוא מאד יעיל כפי שנראה בהמשך:

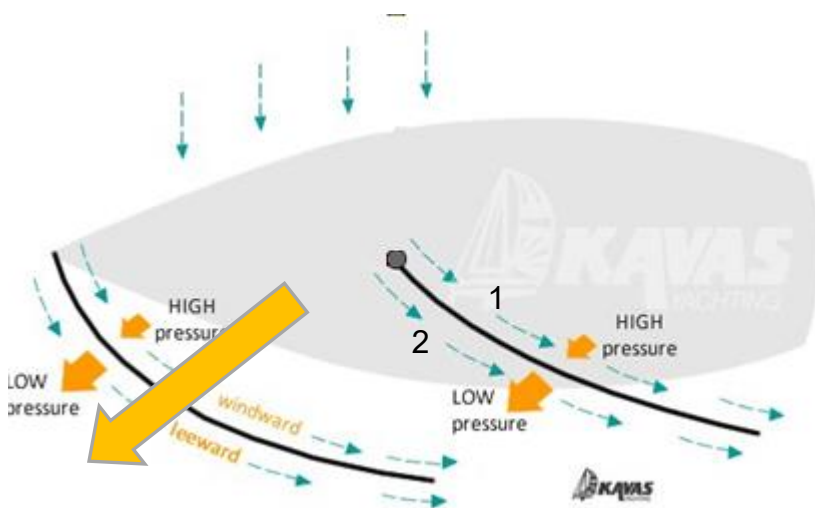




# המפרש המודרני

\* על המפרש, בדומה לכנף של מטוס, (על פי עקרון ברנולי) מהירות זרימת הרוח גבוהה יותר "מתחת לרוח", ולכן הלחץ שם נמוך יותר מאשר בצידו השני

\* הפרש לחצים זה כל פני כל שטח המפרשים מייצר כוח "ששואב" את הסירה

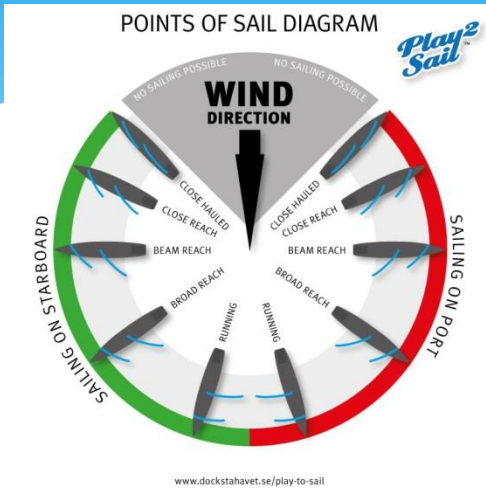


$$\text{Energy per unit volume 1} = \text{Energy per unit volume 2}$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

# מהם הכוחות שפועלים על הסירה?

מהם הכוחות שהרוח מפעילה על הסירה?



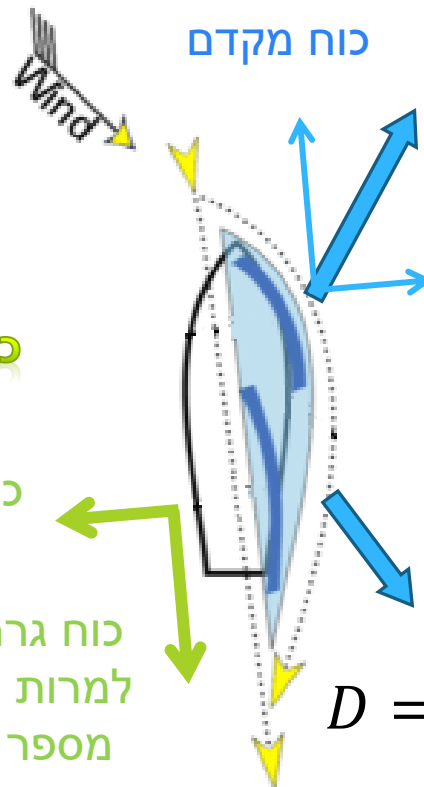
כוחות שהמים מפעילים על הסירה?

כוח גרר צידי - החרב (קיל), וגוף הסירה

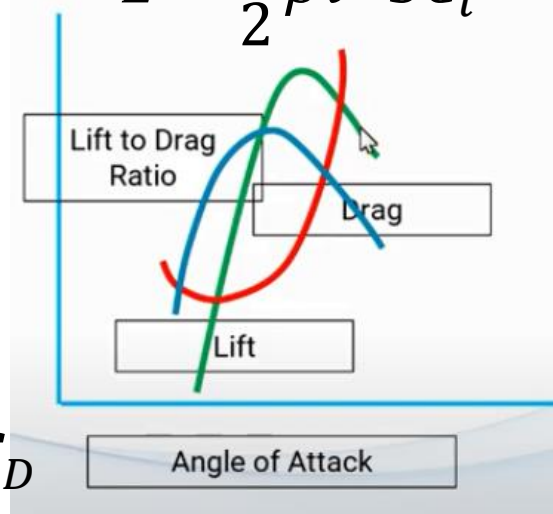
כוח גרר הידרודינמי למרות צמיגות המים מספר  $Re > 10000$

$$D = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_D$$

$$D = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_D$$



$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_L$$

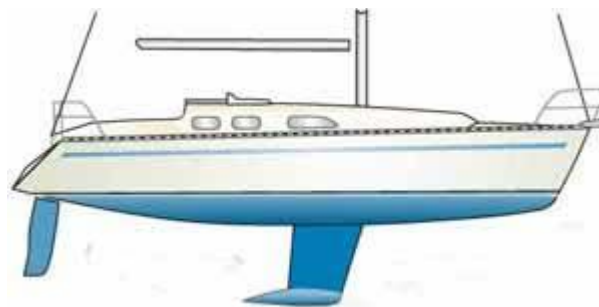
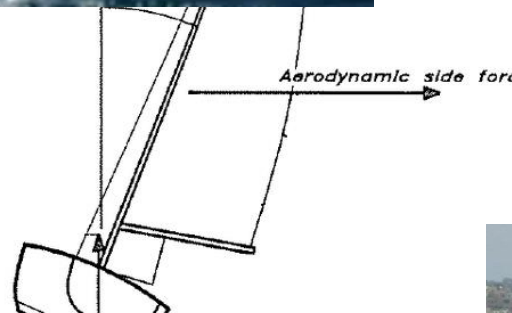


ע"פ החוק הראשון והשני של ניוטון - כאשר הסירה מפליגה במהירות קבועה - כל הכוחות עליה מאזנים זה את זה ( $\sum \vec{F} = 0$ )



# הכוחות שפועלים על הסירה (המשך)

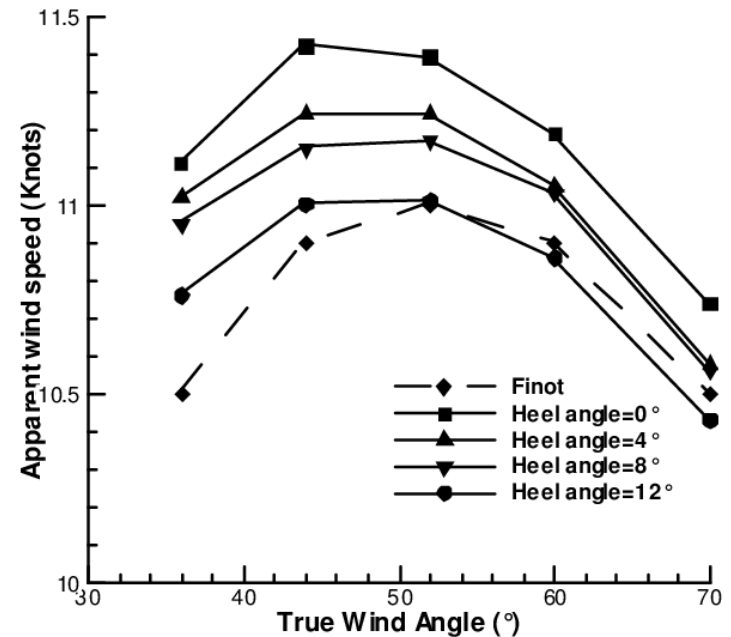
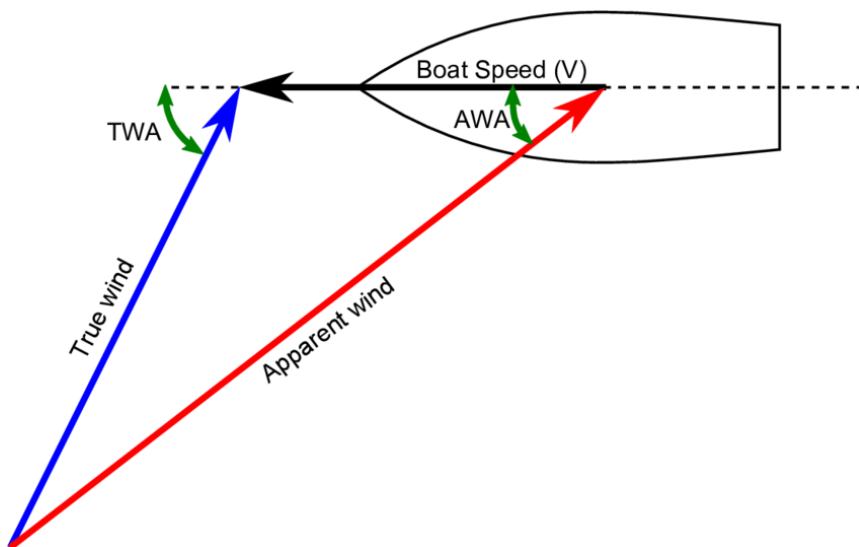
הכח שהמפרש  
מפעיל גורם למומנט  
שיהפוך את הסירה!  
איך מאזנים ?





# מהיא רוח "מדומה" Apparent Wind

הרוח המדומה היא הרוח שהמפרש "מרגיש" והוא חיבור וקטורי של הרוח האמיתית (True Wind) ומהירות הסירה (רוח פנים)



כיוון המפרש יתבצע לפי כיוון הרוח המדומה שהמפרש "מרגיש" בכל רגע



האם סירת מפרש יכולה להפליג  
מהר יותר מהרוח שמניעה אותה?





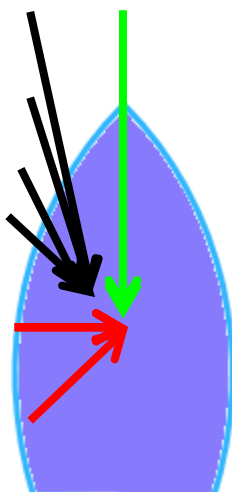
# נשים את המפרשית שלנו על קרח – כמעט ללא חיכוך

\* נמתח מפרשים – רוח צד קלה

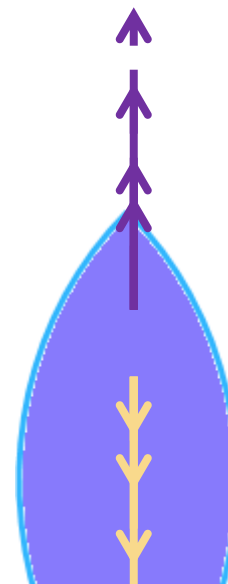
## הרוח על הסירה

## הכוחות (ציריים) על הסירה

רוח פנים (מהירות)  
הסירה) ↓  
רוח מדומה ↘  
רוח אמיתית →



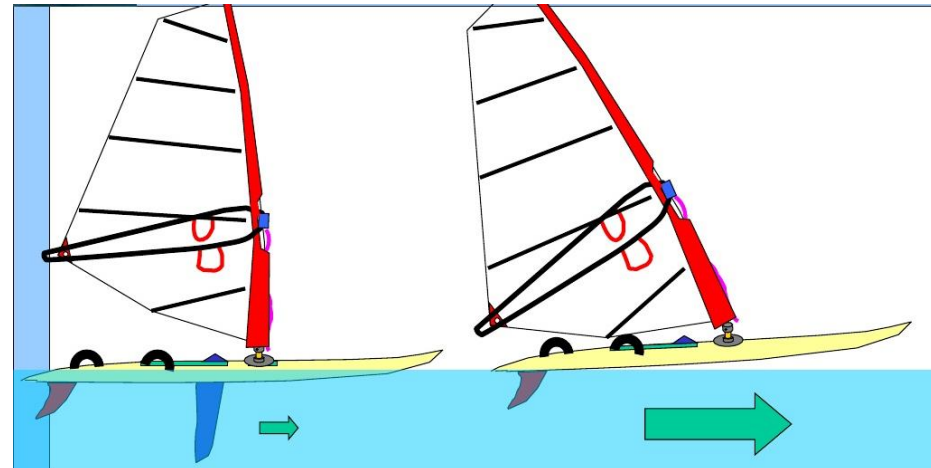
↑ כוח מקדם  
↓ כוח גרר (מעקב)



על קרח, כאשר הגרר והחיכוך קטנים מאד- ניתן להגיע למהירות גדולה פי 3 - 5 ממהירות הרוח !!

# ובים ?

\* ישנם כלי שייט שלהם שוקע קטן מאד ובמהירות גבוהה הם מרחפים על פני המים (planing)

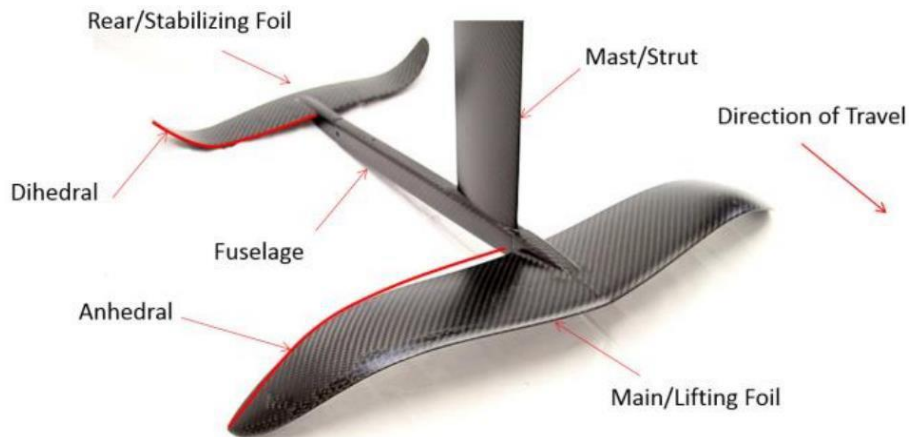




# ומה עם לכלי השייט יש שוקע?



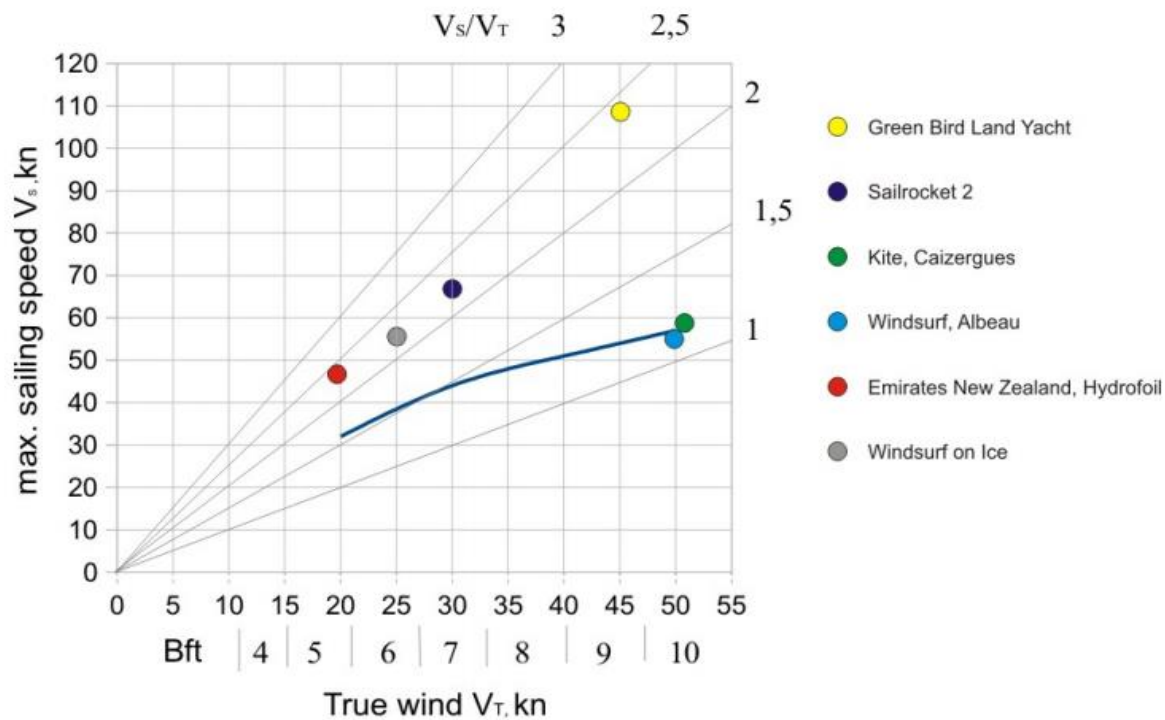
- \* שוב- המטרה להקטין את החיכוך (גרר) למינימום האפשרי
- \* הפתרון- פוייל (Hydrofoil), לוח דמוי כנף שבמהירות מסויימת מייצר מספיק עילוי (בתוך המים) להוציא את כל גוף הסירה מחוץ למים. ע"י כך גרר גוף הסירה קטן מאד והסירה יכולה להתחיל להאיץ ולהפליג מהר יותר מהרוח המניעה אותה !!







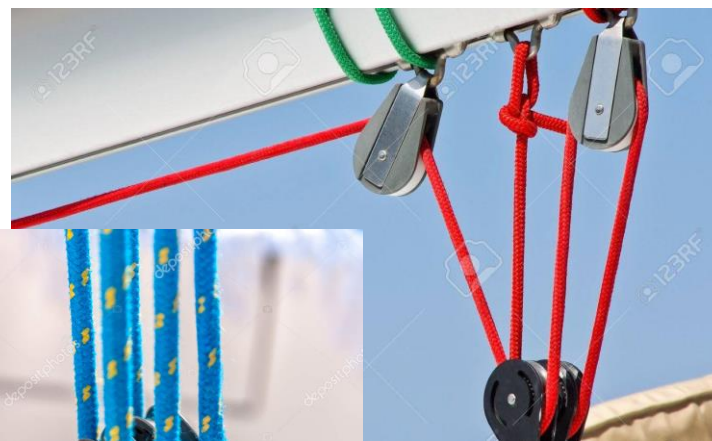
# שיאי עולם במהירות



# ריבוי מערכות של גלגלות ומנגנוני רווח-כוח



www.alamy.com - F2WPAK



depositphotos

image ID: 150285902 www.depositphotos.com

# סיכום

- \* היסטוריה
- \* חוק ברנולי
- \* כוחות, מומנטים וצימוד במערכות מורכבות
- \* מרכזי לחץ ומרכזי כובד – יציבות
- \* עילוי וגרר (אווירודינמי והידרודינמי)
- \* וקטורים ורוח מדומה
- \* מערכות פשוטות- רווחי כוח וגלגלות



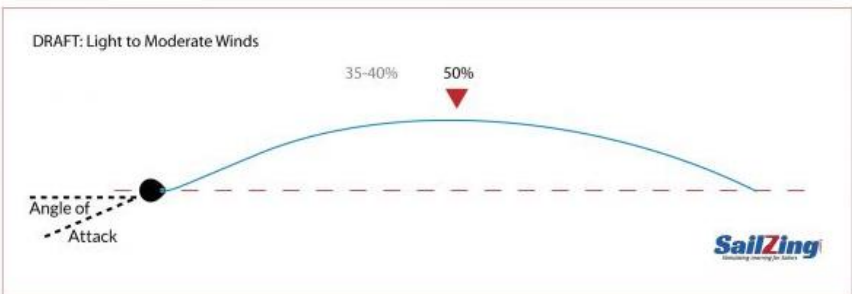
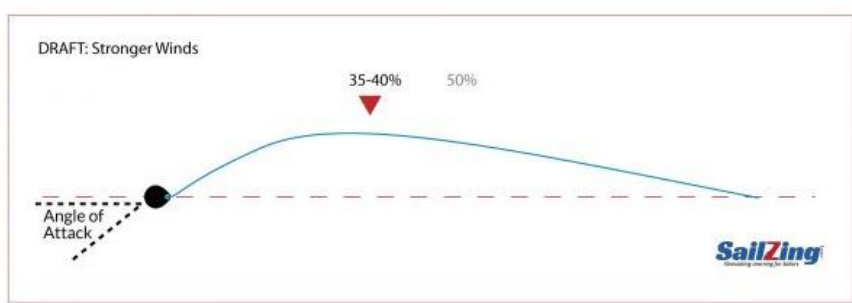
# שאלות?



תודה על ההקשבה  
שנפגש במים

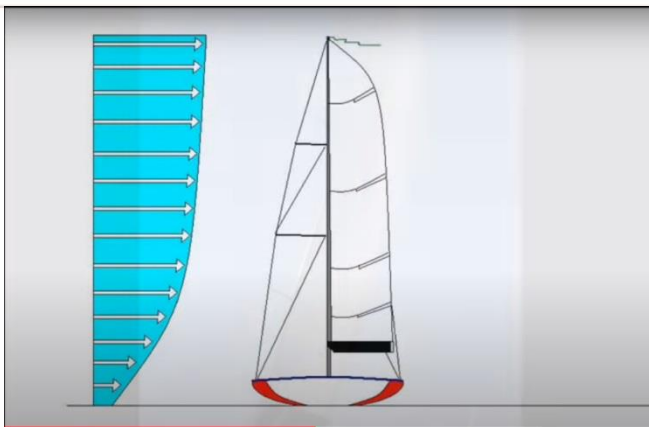


# דרגות החופש בכיוון המפרש

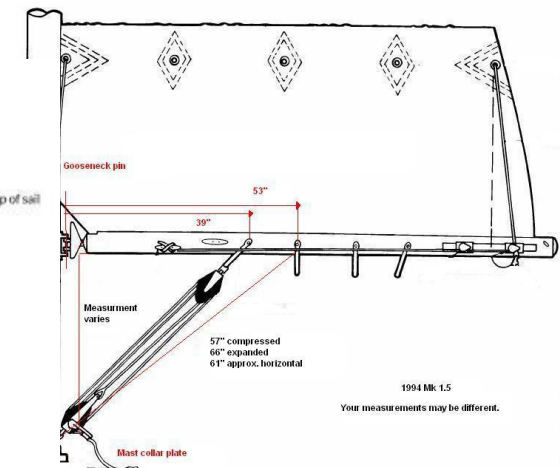
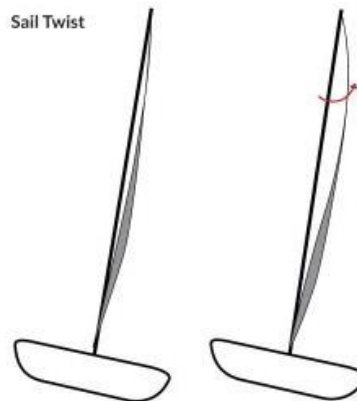


לשייט הרבה (מעל 6) דרגות חופש  
ויש צימוד ביניהם!

השייט התחרותי יודע למקסם את  
ביצועי המפרש בתנאי רוח נתונים



Sail Twist



# נקדים ונגדיר שני חוקים פיסיקאליים

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

\* החוק השני של ניוטון

\* חוק ברנולי

לצורך הדגמה ניקח דף ניר, נניח אותו מתחת לשפה התחתונה של הפה וננשוף בחוזקה! מה קרה?

