

עוצמת זרם אוויר למספר מסתובב + שינוי היבול

נסתב על המעטה של תנועת אוויר במספר כיוונים מסתובב (צמיגות אוויר חסובה) עדי אוויר גזרה, ליד החייל (באם להגדיל מהירות האוויר יוצרת את פני המים. נשאר השואה, כיצד ניתן למדוד אוויר גזרה בעזרת מודל קטן ומתני לחשב את כח הזרקה?

הצבים שמתוארים את המעטה:

אורך אוויר למס

$$[L] = cm \quad [g] = \frac{cm}{sec^2} \quad [S] = \frac{gr}{cm^3} \quad [v] = \frac{cm}{sec} \quad [F] = g \frac{cm}{sec^2}$$

כח זרקה האוויר

$m=2$  — מספר גזרים מסתובבים

$k=3$  ,  $m=5$  ← מספר גזרים מסתובבים

$$\pi_1 = \frac{F}{\rho v^2 L^2}$$

גודל אחר יהיה הגודל המתקשר:

היות ו-F הגודל אחר אלו נוצרים לטובו, אין לנו חלום שלגוד ה  $\pi_1$  השני, רק, זה שגודל:

$$\pi_2 = \frac{v}{\sqrt{lg}} \equiv Fr = \text{Froude}$$

מ'ל חברה

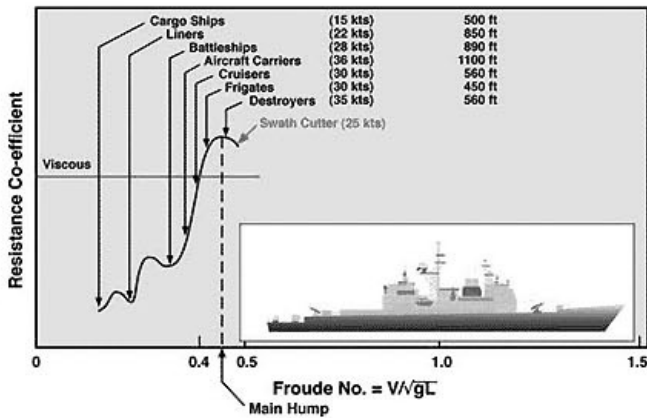
אחרי בניה האוויר הגודל שגודל אחר השם

ב'חן ה  $\pi_2$

$$F \approx \rho v^2 L^2 f\left(\frac{v}{\sqrt{lg}}\right) \equiv \frac{1}{2} C_D(Fr) \rho v^2 L^2$$

רק, באופן זה

לקיים זה  $Fr=2$



בדיאגרמה המצוינת ניתן להאיר כיצד מקצת היזר תלוי במספר Fr. לרוב, אוקר פולטר ב - Fr ≈ 0.4 נר שהצר לא יהיה בזת (נסבל).

\* אם אנו כוללים אבנאר איניה באובל ל וכולים אהבין אתר הכחילה ע"י מובל באובל ל, ל - לר צכיק אבנאר מהילטר המובל כפי רצח את אולר לננה הכחילה? - מה יהיה יחס הצרכים בין המובל ובין האניה האמיתית?

← כאשיר, צכיק אתר אולר אוסבר Fr :

$$v \sim \sqrt{L}$$

$$v_1 = v_0 \left( \frac{l_1}{l_0} \right)^{1/2}$$

למשל: אניה ג - 30 קמ"ש, מורו 100 מ - ימורו במהילטר של 3 קמ"ש.

דכר בין שני המודלים.

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 S \rightarrow F \propto \frac{v^2}{\sqrt{L}} L^2 \propto L^3$$

הצר יהיה:

$$F_1 = F_0 \left( \frac{l_1}{l_0} \right)^3$$

למשל:

כאשר, הצצר יהיה, הקנה הפיטל שלו, פ. 10<sup>6</sup> יולר דא.

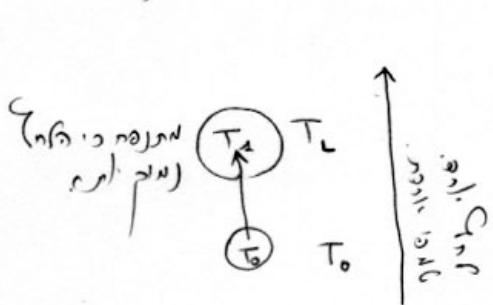
קונדיציה - תיאור פשוט למערכת מוכנת

קונדיציה היא זוגות של מקרים מוגדרים. לפיכך אנו במצוק ניתן רק הקיבלה התיאור והפתרון התיאור אנו אפשרי אף בעצם סימולציה נומית. אדם זולת (כואה כי בעצם אנחנו לא יחזיקו ונעט פסקה ניתן להבין המון מה הקיפה ובעינינו את מכוון הפתרון שלה.

נתחיל במבוא קטן מ קונדיציה. אמרנו (נסה לראות לה הענינה הדברים באתר זה יש קונדיציה ומה הפרמטרים המצוינים אותה. בחינה, מה מקטנות ההנחות המבטאת אתן אנו יכולים לתת, ומה הפרמטרים - שנגדו לתואר הקצה. אמרנו נראה כיצד אקטם נוסעם יכולים להשיג את הקיפה ואילו פרמטרים הם מקוים.

קונדיציה - הקצ

קונדיציה מתעוררת במצבם בהן יבחר הטמפרטורה של הקיפה גבוהה מהגבולות האופייניים. זה קריטיאן שנוכחית ואפשרות איתו כי הפשטות. נסתכל על אלתר מה באטמוספירה עם קצב, טמפרטורה (ניצוגר חלקי)



מה (עשה זאת מספק את כן שהאלטר לא יהיה חום עם הסביבה אך נענין זאת כן שהאזר יתגזר עם הסביבה.

בתקופה החדש, האלטר בסביבת החום (מוכה ילד, רכן האלטר התקרה או ציגהטת. אם הטמפרטורה

של  $T_2$  יותר קטנה מהטמפרטורה של האלטר יהיה צפוף יותר ולכן יהיה לחושי -

המערכת תהיה יציבה. אם רוצים זאת, הטמפרטורה של הסביבה קטנה יותר, דהיינו

הטמפרטורה של הסביבה ילפת יותר מהי, האלטר יהיה קו יותר מבסביבה ולכן ימשך לעבר -

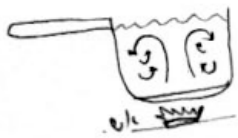
המערכת תהיה יציבה. (כן אם הפנה שהאלטר אינו מחולר חום עם הסביבה (למה!))

התוצאה: קונדנציה - אטמוספירה האטם חמים מהסביבה, עלו מעלה וביא יתר  
 יותר חמים יחסית לסביבה, ויגשבו קולר עד שיצור קצה של הטעינה או 30  
 שיתנוססו, אטמוספירה קרים יכבו מעלה ויתרו "קור" איתם, פהינו, יתחילו לעבור  
 חום סגור מעלה.

בהרבה מערכות, ברצף שני תצורות דעקרבז, ההסגה של החום היא כזו  
 'עלה שהמערכת מסתובבת, ה דעקרבז הגדול במעט להחזיר את האטמוספירה.

היכן מופיעה קונדנציה?

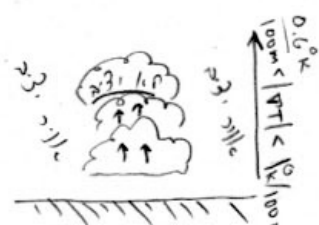
\* כשמתחמם מים - אם הפרט הטמ' מספיק גבוה, כך שתחת החום אינה מספיק  
 'עלה להעביר את החום (והולטני) מתקוצם אינו מתקרר מספיק (גבר) מקבלים  
 קונדנציה. (כמעט תמיד הזרימה יהיה מעלה האזינאט.  
 והולכת החום היוו המקבילה יורח חודשית הקונדנציה)



\* אטמוספירה 'בשה' - האטמוספירה הולכת החום כה קטן

'עלה, שתמיד כשהזרימה גבוה מעלה האזינאט, תגדור קונדנציה.  
 הזרימה כה קטן  $1000 \text{ K}^{\circ}/\text{m}^2$ . אם הזרימה עובר ערך זה, קונדנציה תבוא לאופן  
 את ביובי המעלה כך שזו תהיה בקו  $1000 \text{ K}^{\circ}/\text{m}^2$ . בדקעת הירדן, וכן  
 המעלה קטן גבוהה מהמעלה בישראלים באתר נ-  $12^{\circ}$

\* אטמוספירה "רואבה" - אם האטמוספירה מתקופם מביא יוצר מים, אזי כאשר הוא עלה  
 ומתקרר, מים יוכלו להתאבות ולצורה ענן. ההתאבות משחררת חום כמוס  
 (Latent heat) ולכן האטמוספירה אינו מתקרר לפי התקררות האזינאט אלא יותר  
 חום עם הקטנה. התקררות הכוזבת התאבות נקראת "אזינאטה רואבה", והיא מסבכת  
 גבוהה  $1000 \text{ K}^{\circ}/\text{m}^2$  (מאד תלוי בטמ' כי כמות אדי החום תלויה בטמ'!)  
 בעצם מסוג קומולוס, אינו זה נמצא באטמוספירה עם:  
 $1000 \text{ K}^{\circ}/\text{m}^2 < \Delta T < 1000 \text{ K}^{\circ}/\text{m}^2$   
 אם האוויר מתחיל להתאבות, הוא יהיה לא יציב, 'עלה  
 ויציב עין, עד שיגמל החום (קומולוס) או 30 שיתחיל להסבכת

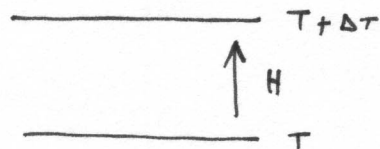


\* לעטפת כדור - לעטפת כדור (בין הזכה והקילום) ציבה זהעדיה את החום  
 הנפלט בזיכה מיתפסקת רצף אקטבלר (של א<sup>40</sup> ט<sup>238</sup> ו- Th<sup>230</sup>).  
 היתר והלכת החום היתם איקטר רצח, ההיזנה נעשית ע"י קונדקציה.

\* לעטפת השמש - בתחילה הפנימי של השמש, הפקרת החום נעשית ע"י קרינה.  
 אולם, בחלק החיצוני הטלפ' הנינוכה יחסית זעומה זאט'לותר למעכה קרינה להלך  
 עדינה זמי (אטומים שאינם מזנונים כיסלזר ככדים נה"א), תרומים רבות ראט'לותר)  
 יתוצאה - גרצ'אק הטלפ' עדי עפ שהוא מיעד יזנה האצ'אגט. כק שמתעוית  
 קונדקציה. איתר הקונדקציה (יתן זכאית א כני השמש) כזו תמנור נעכד).  
 הקונדקציה היא האחמאית עת קפ'לותר המענט' (טעדה מניק' עובי הזכרה  
 עדי עכפ'לטר האוניגיה שזו ( $B^2/\mu$ ) נעשיוה רצפ'ית האוניגיה הקינט' כט'אובלוציה  
 שבקונדקציה).

מספרים חסני מילמ'ים המתארים את הקונדנציה

כעת ניצבים לכולנו מהם הגורם המופיעים את העזת הקונדנציה - נסתכל על קונדנציה



בין שתי פלטים:

- המרחק בין הפלטים הוא H.

- הטמ'ם על פלטה יותר T והטמ'ה T + ΔT.

אם היינו פותרים את בעיית הקונדנציה באטמוספירה כי אצל במקום H היה h - הסקרה עליה הצפונה יונקת במקום e ונולדו במקום ΔT היה

אנו גביאנט טמ'ם.

- כאילו כי מקור הקונדנציה נעוץ בעובדה כי צפיפות האומוספירה תלויה

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha(T - T_0))$$

בטמ'ם:

זוהי הצפיפות משתנה עמו הטמ'ם ומקום הפלטה ציורה α הוא מקדם ההתפשטות

סקינויות הצפיפות יכולה להיות גלגל בדיסטורבציה גלגל (p-p) גלגל

אנו מניחים כי הקונדנציה נאטיר אמן החולף בחד (שמתאמן במהירות הקוד)

מגיע חטיוני משקל, הרבה יותר מהר ממה שבהאומ'ים לצימ. (נקראו קילב בוסנסק)

- בקצה תפוך האנת חום וזמן נכנס K - מקדם הדיפוזיה של החום (cm<sup>2</sup>/sec)

- בקצה תפוך צמיגות - דיפוזיה של תנך - חמן יכנס מקדם הדיפוזיה ל

- המאנגת נמצאת בשפה כבידה חמן תהיה חלוא ב-g.

- ים חום בקצה חמן קידור החום C יכנס. (ק'יב' מסב)

סבב, ק'יב'נו אלו הביטויים:

- |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| 5 - K - cm <sup>2</sup> /sec | 1 - H - cm                   |
| 6 - g - cm/sec               | 2 - ΔT - °K                  |
| 7 - α - 1/°K                 | 3 - ρ - gr/cm <sup>3</sup>   |
| 8 - C - erg/gr °K            | 4 - γ - cm <sup>2</sup> /sec |

סהכ ישנם 4 סוגי יחידות א- 8 גלג'ים

⇐ ממעט כי יש לנו 4 גלג'ים חסני יחידות.

לצד כאסון, שגאלינו כבר דגדג הוא החם בין מקדמי הפיכלטיה:

$$\Pi_1 = \frac{\kappa}{\nu} = \frac{\text{ביעולית חום}}{\text{ביעולית תנע (ביעוליות)}} = \frac{1}{Pr}$$

Pr - מסבי פרנולט.

מסבי נוסף היא מסבי הינוולנס המתקבל כיום בין זמן הביעולית האופיני. (ש תגד) לבין זמן העקר ש אלמנט. ההדפס להתיישוב הרזיל היו שבדרכו יאנו מצידם את ה- ט האופיני אלמח הפעם המהיכלר אלמורה להתקבל להדפיה, נמציו איתה עזי התאוצה האופינית בדפיה.

האלמנט יהיה כחול צפוף מהסבידה ה-  $\Delta T_g \sim \alpha \Delta T_g$

התאוצה (מתוך אוכימנס) תפיה  $\alpha \text{ typical} \sim g \alpha \Delta T$

הזמן האופיני שעת האלמנט לעבור את ההתחברת דנפיה חופטר הוול:  $\tau \sim \sqrt{H/g}$

זמן במקרה שלנו:  $\Delta T_g \sim \sqrt{\frac{H}{g \alpha \Delta T}}$

הזמן האופיני לביעולית תנע גמקובר:  $\Delta T_v \sim H^2/\nu$

היום ביניהם ניתן לת מסבי. הינוולנס האופיני:

$$Re \sim \frac{\Delta T_v}{\Delta T_g} \approx \frac{H^2}{\nu} \sqrt{\frac{g \alpha \Delta T}{H}}$$

קבוע זה בריבוע (קראו מסבי גרסוף) (Grassof):

$$\Pi_2 = Gr = \frac{H^3 g (\alpha \Delta T)}{\nu^2}$$

ניתן להגדר מסבי בומה:  $Ra \equiv \frac{\Pi_2}{\Pi_1} = Gr \cdot Pr = \frac{H^3 g (\alpha \Delta T)}{\nu \kappa}$   
 מסבי בומה Rayleigh

מסתבר שמסבי הייל יתה שילוש. מסבי גרסוף היא ומקריטכיון לאוי יצרות קנדקטיבית במשטח צק הוול:  $Ra > Ra_{crit}$  - בהיניו, מלא תלוג ה- Pr



$R_{air}$  הוא  $\sim 100$  אם המטטה העליון חופשי ואילו  $R_{air} \sim 1000$  אם המטטה העליון חסום.

כעת נשאירו את שני מספרים. היותו לא השתמשנו בקיבול החום, נשתמש בו כעת.

יש לנו שני אסטיות, קהשתמש ב-  $\Delta T$  והשתמש ב-  $\alpha$ , כדי להגדיר את ה-  $\alpha$  בקיבול חום. נשתמש באופציה השנייה. הסיבה היא ש-  $\Delta T$  תלוי בתנאי שפה ואילו הקיבול חום הוא אצל אינטנסיבי כן שהגורם חסר האיחודים יאכן ולהחלוק אחרת את כוונת הקצרה:

$$\frac{c}{\alpha} : \frac{erg}{g} = \frac{cm^2}{sec^2}$$

ז"א. ניתן להגדיר אויך אופיני :

$$\Lambda \equiv \frac{c}{\alpha g}$$

אויך זה אינו תלוי בכיט. החטיה, יך את החומר (ארכיובה). מה משמעותו? נכפיל ב-  $\Delta T$  ונעדי אגבים:

$$\alpha g \Delta T \cdot \Lambda = c \Delta T$$

בצד ימין אני כולאים את האנרגיה התרמית של האטמוספירה (שהיא שניה בטמפ'  $\Delta T$ ). בצד שמאל, יש את  $\alpha$  typical. זוהי האנרגיה הגרביטציונית שמקבל האטמוספירה בעודו מותך  $\Lambda$ . צדדני,  $\Lambda$  היא ההיחך עדינו האנרגיה הגרביטציונית של האטמוספירה לשלילה לאנרגיה הפנימית; עדינו מרחקים קטנים ימין, מרחק האנרגיה הפנימית היא בעיקרה תמי.

עדינו נמס:  $\Lambda \sim 2000$  קמ. צדדני, מרחק זהו חסוב.

$$\Pi_3 = \frac{H}{\Lambda} = \frac{\alpha g H}{c}$$

ניתן גם כן להגדיר:

גורם נוסף הוא התאוצה יחסית ל-  $g$ :

$$\Pi_4 = \frac{\alpha g \Delta T}{g} = \alpha \Delta T$$

בלמע, א עוז הקונדקציה אינה חזקה אפריט הטמפ' היוו כזה, כך ש-  $\alpha \Delta T$ , קוצט זה יהיה לא חסוב.



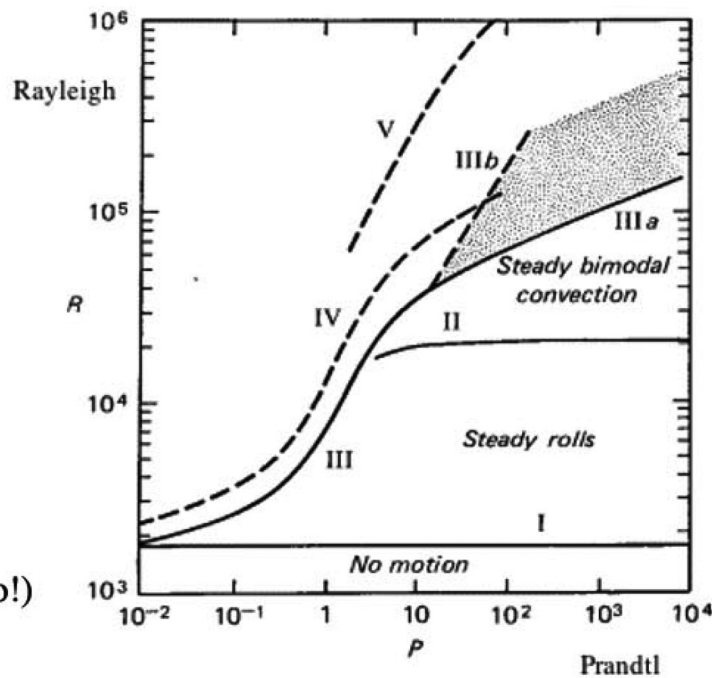
$$\Pi_3, \Pi_4 \ll 1$$

אנו נושאים כי התנאי לעצב הימים

בן שהכבידה לא תהיה זריחה חזרה קמבר אנרגיה והקונבקציה לא תהיה חזרה.  
 במקרה זה, הקונבקציה תבואר על ידי שני משוואות מסדר שני.

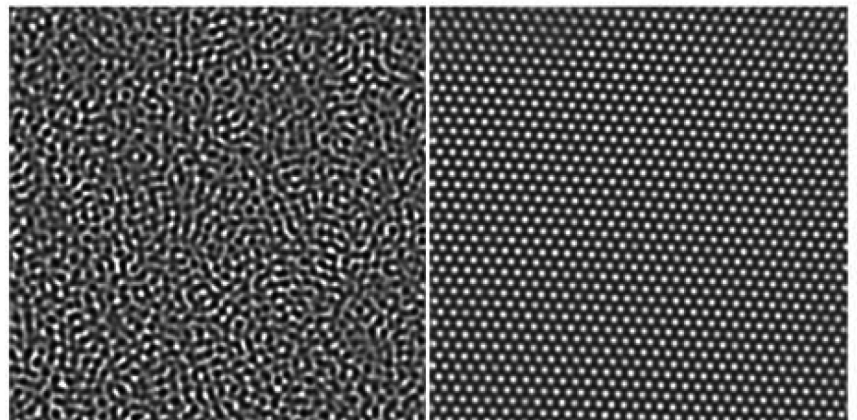
$$\left(\frac{1}{\Pi_1}\right) = Pr = \frac{\nu}{\kappa} \quad \left(\frac{\Pi_2}{\Pi_1}\right) = Ra = \frac{\alpha g \Delta T H^3}{\nu \kappa}$$

כחול, נעץ חיצוני פיאורגט פאזר בו מילדות להתאר ולתאופי הקציה.  
 בתחום מסוים של תהיה תנועה בתנאי אלה גבנים עלולים להופיע, מבנים מסודרים  
 חזו מסוימים ונקמה. כל קציה קונבקציה תבואר על ידי שני פרמטרים:

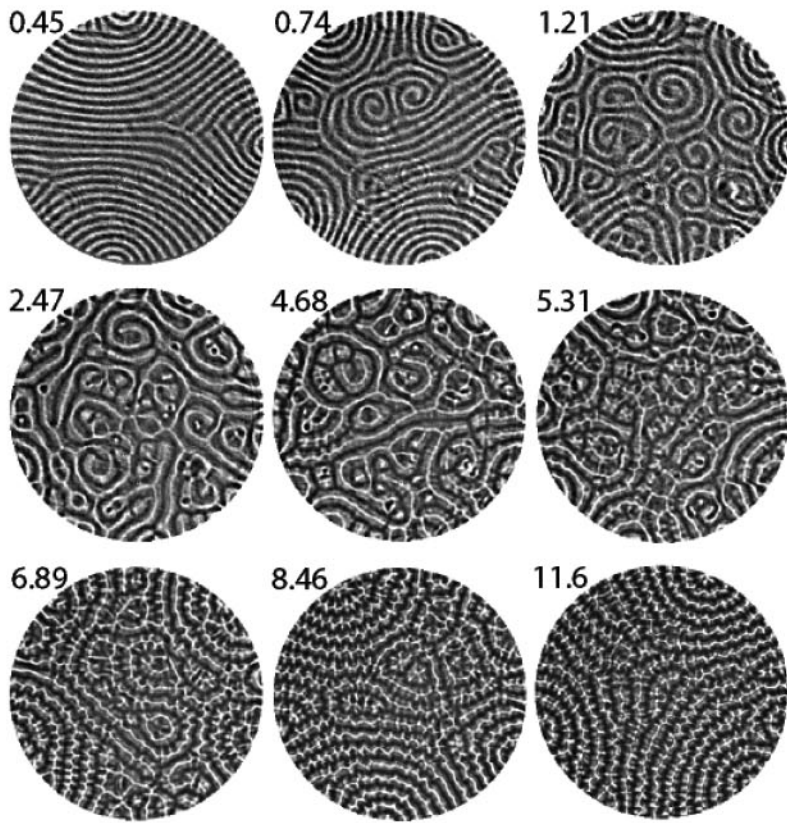


(depends on geometry too!)

(Order -> disorder when increasing Ra for fixed Pr)

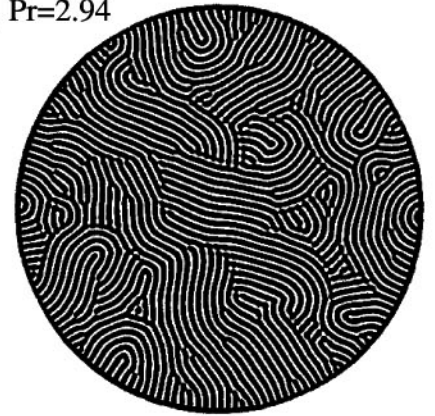


More Examples of Convection



Pr=1, values =  $Ra/Ra_{cr}-1$

Ra=2170, Pr=2.94



Ra=2950, Pr=1.0



מהו המהירות האופיינית?

מצינו:  $\tau_g \sim \sqrt{H/\alpha g \Delta T}$  כזמן האופני. רזולוציה אופני. (ניכח לקבל) זמן אופני.

ז' חוקר המיחך בזמן:

$$v_{\text{typical}} = \frac{H}{\tau_g} = \sqrt{H \alpha g \Delta T}$$

כל גודל מהירות (r.m.s) (רמס) (root mean square) (גודל הישום דטרמיניסטי):

$$\pi_s = \frac{v}{v_{\text{typ}}} = \frac{v}{\sqrt{H \alpha g \Delta T}} \quad (v = (u, y, z) \text{ וכו'...})$$

הפונקציה הבאה אופיינית המהירות יהיה:

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_s) = 0$$

$$\hookrightarrow \pi_s = \tilde{f}(\pi_1, \pi_2)$$

$$v_{\text{r.m.s}} = \sqrt{H \alpha g \Delta T} \tilde{f}(\pi_1, \pi_2) = \sqrt{H \alpha g \Delta T} g(Ra, Pr)$$

רמס:

טקסט ציטוט קטן מאוד, הביטוי אינו אמור להכיל יותר הצטננות או חימום החום (כמו במיסיכני היינו צריכים ציור בסיסי כדור), ואנ:

$$v_{\text{r.m.s}} \sim \sqrt{H \alpha g \Delta T} \quad (Ra \gg 1)$$

מספר רינולדסון וקונבקציה בשדה המהירות עם "זכירה"

למה לא המערכת נעה במהירות  $\vec{u}$  קבועה, אין כל דבר מעניין היות וניקח את המהירות  
 למערכת קוא' כך שצו החצפה תנוע במהירות  $\vec{u}$ . לכן, מה שמוכ הוא שדה  
 זכירה של המהירות. רמז:  $\vec{u}$

עם "זכירה" (= shear) זכירה, אנו יכולים להפיק (להכיל) את הקונבקציה.  
 למה המספר מסת מתמידים הרינולדסון?

כאילו שהמהירות האופיינית של הקונבקציה (ללא זכירה) היא:  

$$u \sim \sqrt{H \alpha g \Delta T}$$

"זכירה" בתוך הקונבקציה תמיד מסת גודל של:  

$$\nabla u_{int} \sim \sqrt{\frac{\alpha g \Delta T}{H}}$$
  
 למבחן  

$$\nabla u_{ext} \sim \frac{u_{ext}}{H}$$
  
 את הזכירה הפנימית יש להטיל את הזכירה החיצונית:

כדי להפיק מה-  $\sqrt{\dots}$  מצדדים יחס של ריבועי הזכירה:

$$Ri = \left( \frac{\nabla u_{int}}{\nabla u_{ext}} \right)^2 = \frac{\alpha g \Delta T}{H} \cdot \frac{H^2}{u_{ext}^2} = \frac{\alpha g \Delta T H}{u_{ext}^2}$$

- \* אם מספר רינולדסון קטן  $N \sim 1$  שדה הזכירה חזק ופנוא ימים רינולדסון.
- \* אם מספר רינולדסון קטן  $N \sim 40$  השדה זכירה הוא מספיק על תאי קונבקציה קטנים, אך כן יכול להפיק אפקט של פקאור גדול. המספר שנוצרת בתנאים אלו הם  $\ell$  - supercell (בהנחה שהוא יציב, לקונבקציה זכירה מספיק).
- \*  $Ri$  גדול יותר, נוצרים הרבה תאי קונבקציה קטנים - multicell.
- \* ישנם מספר הגדול  $Ri$  - כולו במהירות ובכיוון נגדית של אקזיס!