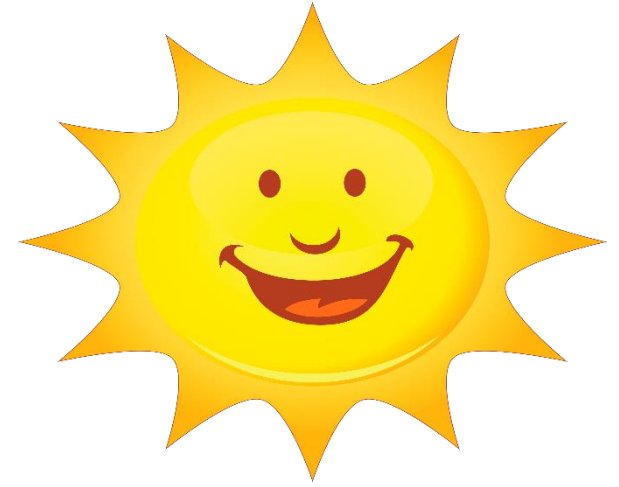


תרגול 6



כוח ציפה

עליית אוויר

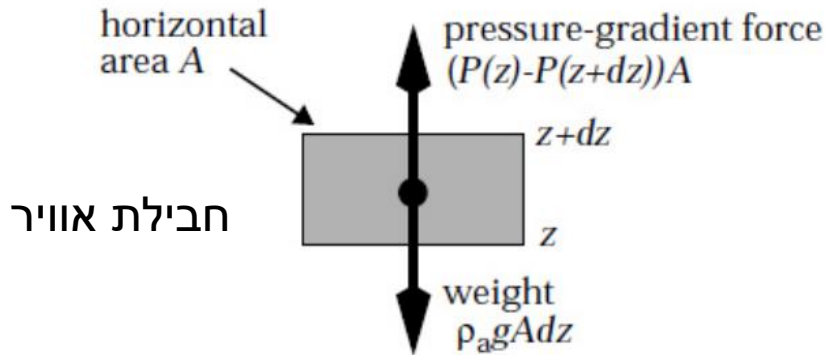
מצבי יציבות באטמוספירה



יציבות אטמוספירה

קירוב הידרוסטטי:

$$\frac{dP}{dz} = -\rho_a g$$

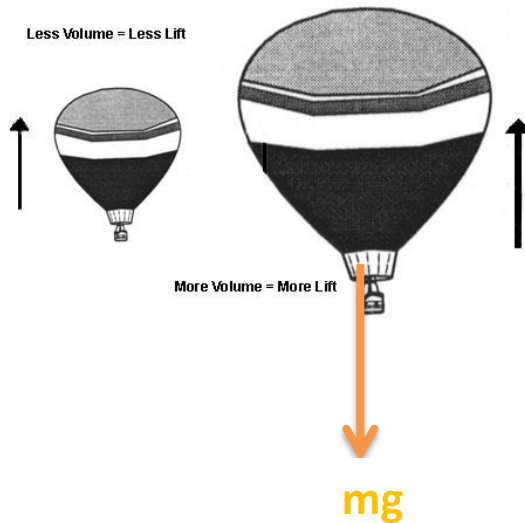


כוח ציפה:

$$F_B = V \cdot g(\rho_a - \rho')$$

$$F_B = ma = \rho V \frac{d^2 z}{dt^2}$$

$$F = ma$$



Dry air

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = g \frac{(T' - T_a)}{T_a}$$

Moist air

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = g \frac{(T'_v - T_a)}{T_a}$$

$$T_v \equiv T(1 + 0.61w)$$

טמפרטורה וירטואלית:

• שאלה 1: למי כוח ציפה יותר גדול?

חבילת אוויר 1: $RH=80\%$; $T'=300\text{K}$

חבילת אוויר 2: $T'=300\text{K}$; $T'd=273\text{K}$

טמפרטורת הסביבה הינה 298K והלחץ האטמוספרי הינו 1013.25 mb

Moist air

$$\frac{d^2z}{dt^2} = g \frac{(T'_v - T_a)}{T_a}$$

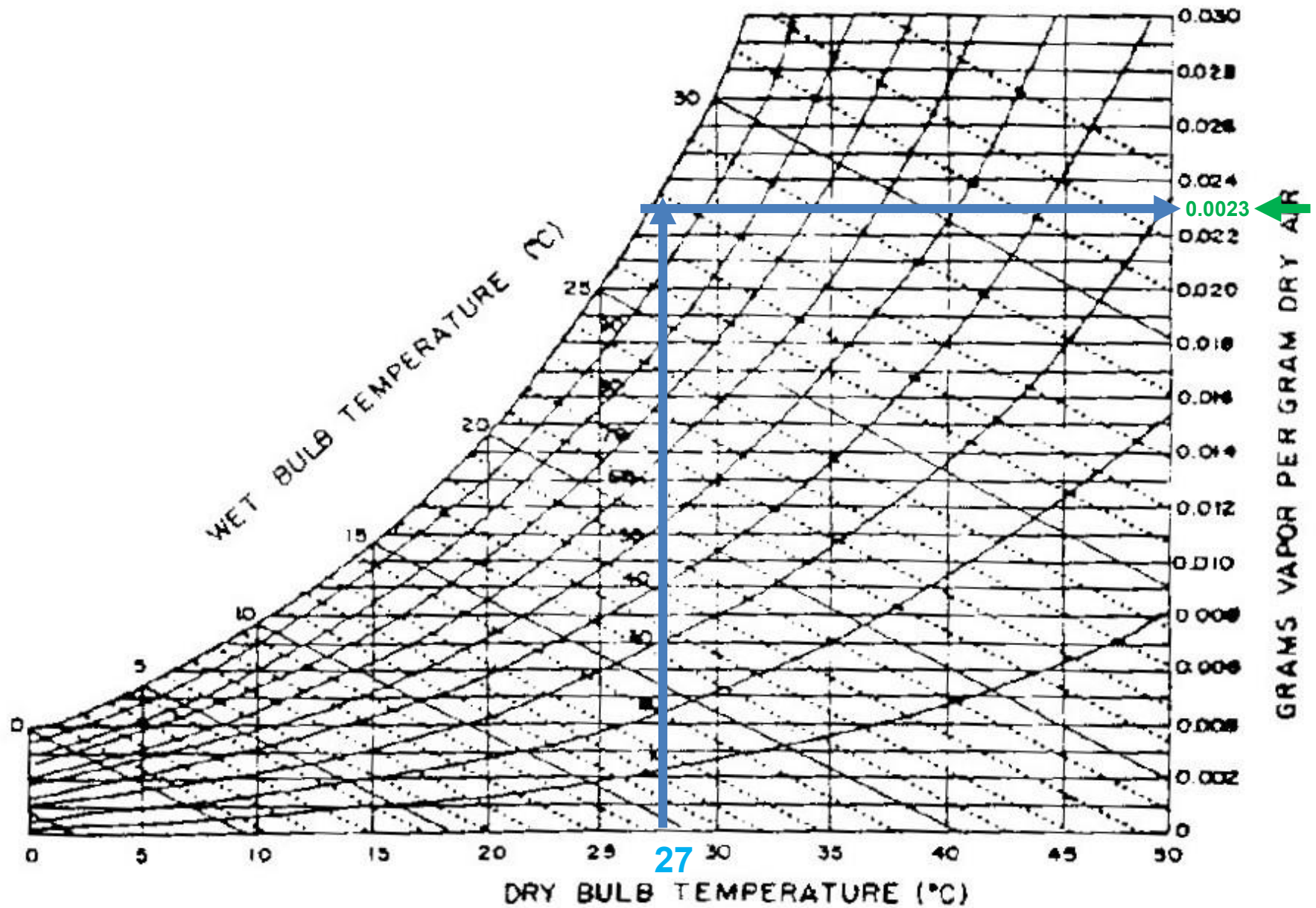
חבילת אוויר 1:

$$RH = 80 = \frac{w}{ws} * 100$$

$$T_v \equiv T(1 + 0.61w)$$

את ws נמצא מהדיאגרמה $= 0.023\text{ kg/kg}$

Measuring Water Vapor in Air



• שאלה 1: למי כוח ציפה יותר גדול?

חבילת אוויר 1: $RH=80\%$; $T'=300K$

חבילת אוויר 2: $T'=300K$; $T'd=273K$

טמפרטורת הסביבה הינה $298K$ והלחץ האטמוספרי הינו 1013.25 mb

Moist air

$$\frac{d^2z}{dt^2} = g \frac{(T_v' - T_a)}{T_a}$$

חבילת אוויר 1: $RH = 80 = \frac{w}{ws} * 100$

את ws נמצא מהדיאגרמה 0.023 kg/kg

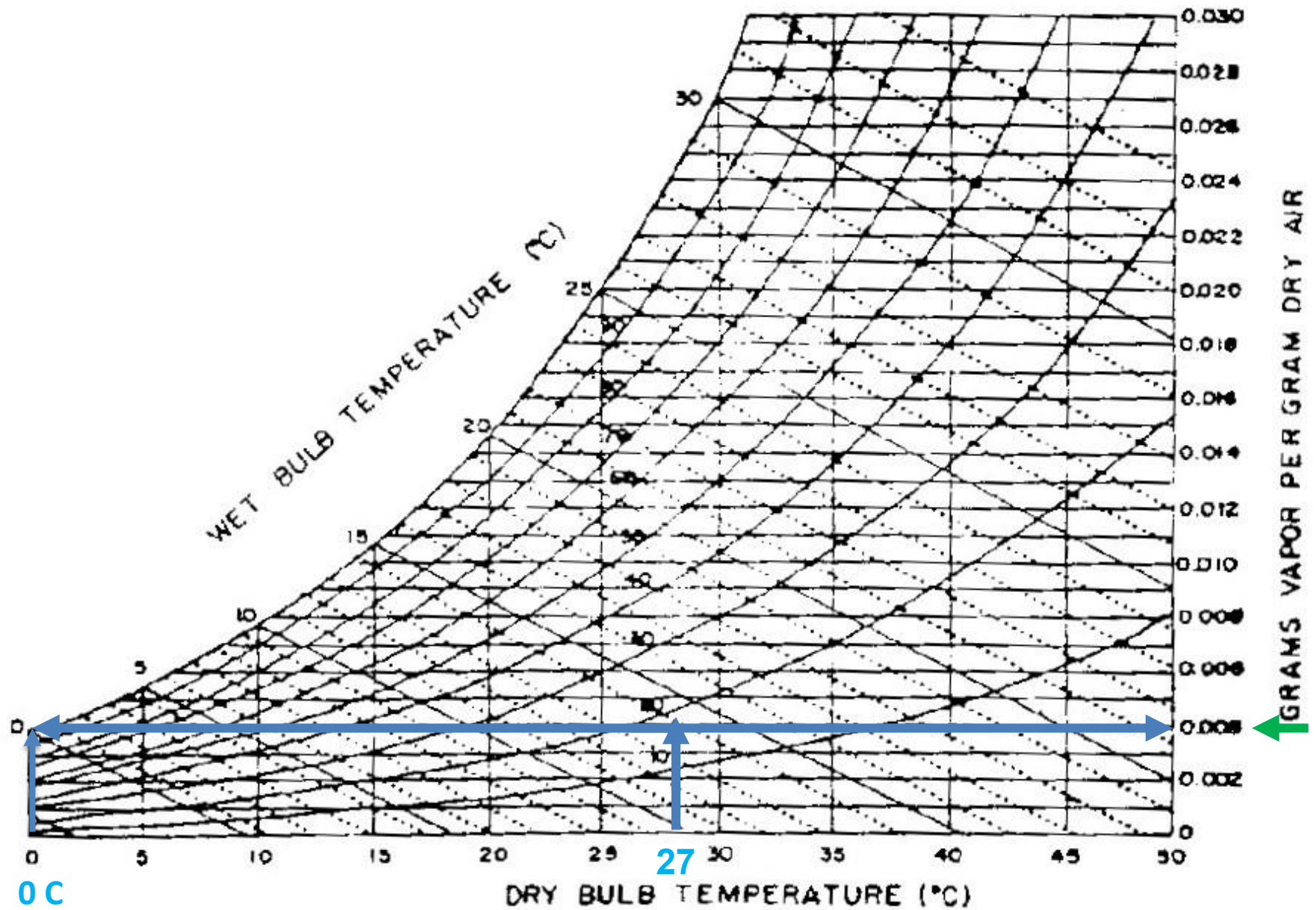
$$T_v \equiv T(1 + 0.61w)$$

$$w = ws * 0.8 = 0.02 * 0.8 = 0.0184 \frac{kg}{kg}$$

חבילת אוויר 2: את w נמצא מהדיאגרמה

w הוא יחס העירוב ברוויה של נקודת הטל $= 0.004\text{ kg/kg}$

Measuring Water Vapor in Air



• שאלה 1: למי כוח ציפה יותר גדול?

חבילת אוויר 1: $RH=80\%$; $T'=300K$

חבילת אוויר 2: $T'=300K$; $T'd=273K$

טמפרטורת הסביבה הינה: $298^{\circ}K$ והלחץ האטמוספרי הינו 1013.25 mb

Moist air

$$\frac{d^2z}{dt^2} = g \frac{(T'_v - T_a)}{T_a}$$

$$T_v \equiv T(1 + 0.61w)$$

$$F_B = ma = \rho V \frac{d^2z}{dt^2}$$

חבילת אוויר 1: $T_v = 300(1 + 0.61 \cdot 0.0184) = 303\text{ K}$

חבילת אוויר 2: $T_v = 300(1 + 0.61 \cdot 0.004) = 301\text{ K}$

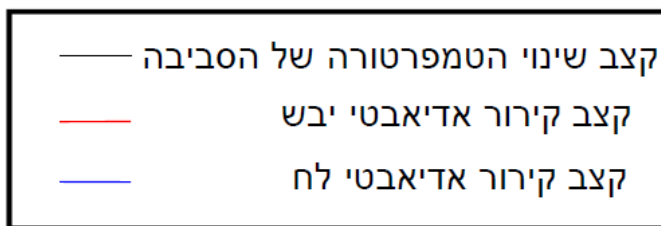
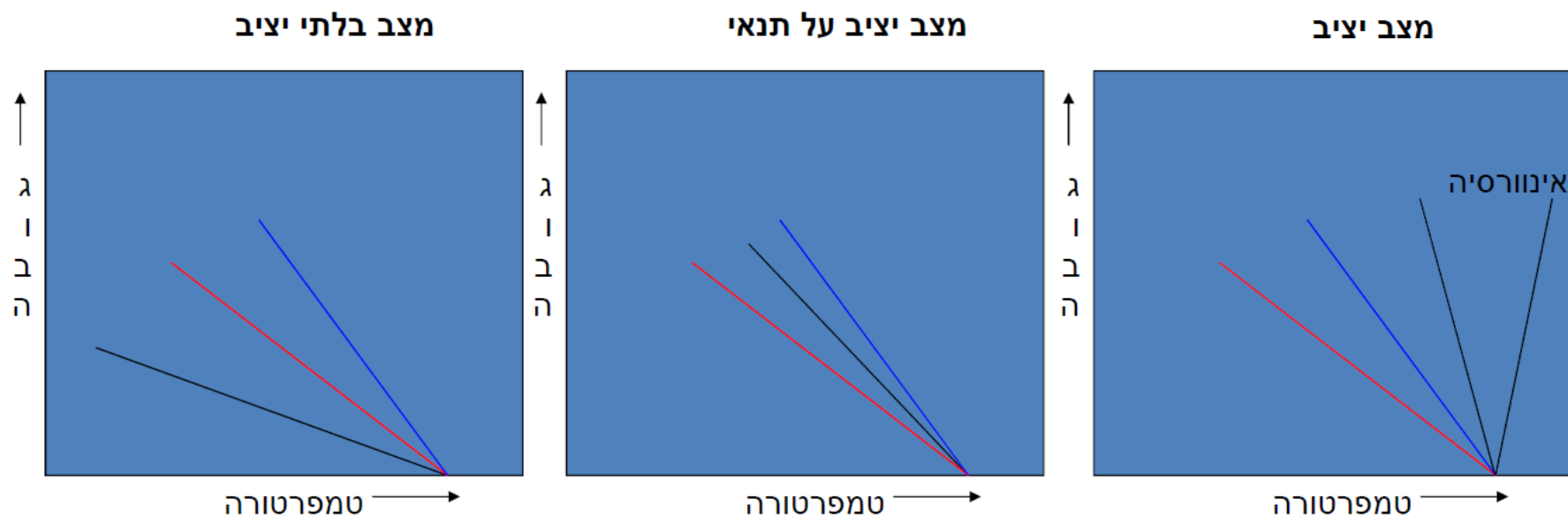
חישוב כוח הציפה דורש להכפיל את התאוצה במסה

חבילה 1: $F_B = ma = \rho V \frac{d^2z}{dt^2} = 1.2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1m^3 \cdot 9.8 \frac{m}{sec^2} \cdot \frac{(303K - 298K)}{298K} = 0.197N$

חבילה 2: $F_B = ma = \rho V \frac{d^2z}{dt^2} = 1.2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1m^3 \cdot 9.8 \frac{m}{sec^2} \cdot \frac{(301K - 298K)}{298K} = 0.11N$

כוח ציפה של חבילה 1 יותר גדול .

מצבי יציבות



מצבי יציבות

Stability Class		Ambient gradient dT/dz (°C/100m)		Night-time Cloud Cover	
				Thinly overcast or > 4/8 cloud	< 3/8 cloud
פחות יציב ↑	A	< -1.9		---	---
	B	-1.9 - -1.7		E	F
	C	-1.7 - -1.5		D	E
	D	-1.5 - -0.5		D	D
	E	-0.5 - +1.5		D	D
Surface Wind m/sec		Daytime Insolation *			
		Strong	Moderate	Slight	
< 2		A	A - B	B	
2 - 3		A - B	B	C	
3 - 5		B	B - C	C	
5 - 6		C	C - D	D	
> 6		C	D	D	

סביבה מתקררת
עם הגובה

• כשהאטמוספירה יציבה יותר, נצפה לפחות תנועה אנכית של אוויר.

• אינורסיה מתקשרת למצב יציבות יציב, כאשר גוש אוויר חם יושב מעל גוש קר ומהווה חסם לעליית אוויר ולתנועה אנכית משמעותית.

• כשהאטמוספירה בלתי יציבה, נקבל תנועה אנכית משמעותית.

PASQUILL STABILITY CLASS

A -- very unstable
B -- unstable
C -- slightly unstable
D -- neutral
E -- slightly stable
F -- stable

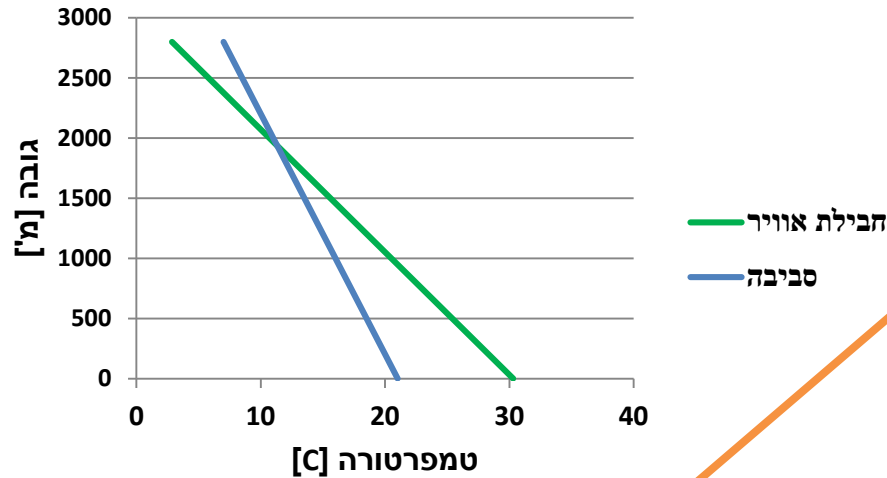
הפרמטרים המשפיעים ביותר על מצבי היציבות:

עוצמת הקרינה
עננות (המשפיעה על הקרינה)
יום / לילה
מפל הטמפ' האנכי.

• מפל אדיאבטי יבש:

ירידת הטמפ' עם הגובה של חבילת אוויר לא רוויה.

9.8 מעלות צלזיוס לק"מ

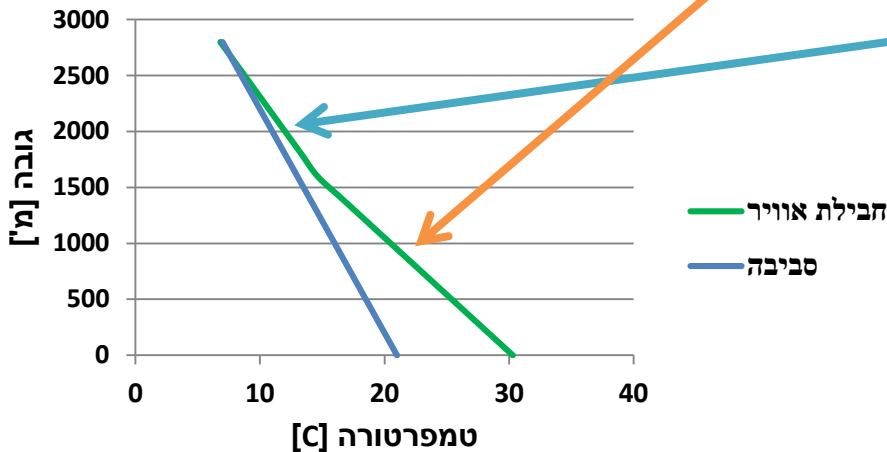


• מפל אדיאבטי לח:

ירידת הטמפ' עם הגובה של חבילת אוויר רוויה.

← מתחיל תהליך מעבר הפאזה מגז לנוזל (התעבות).

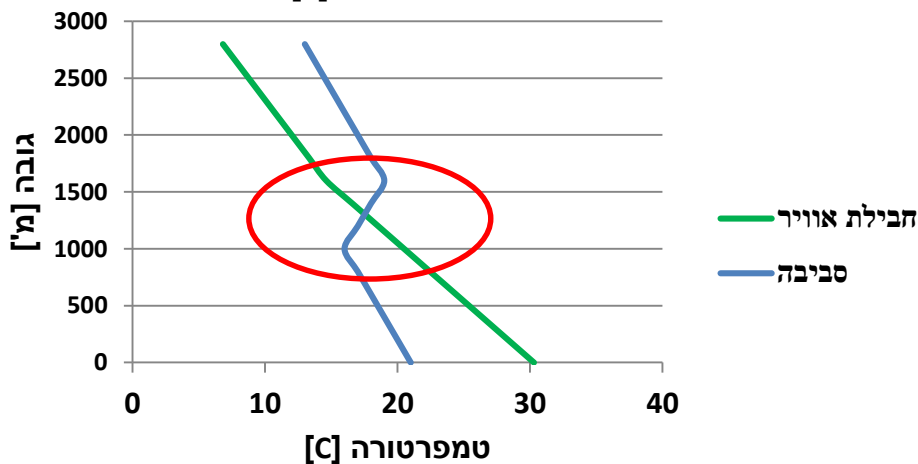
6.5 מעלות צלזיוס לק"מ



• אינוורסיה:

עליה של טמפ' הסביבה עם הגובה.

חבילת האוויר תתקרר עם העליה, בעוד שהסביבה תתחמם ← החבילה תעצור.



עלייה של חבילת אוויר:

- חבילת אוויר חמה יותר מהסביבה

- יותר אדי מים בחבילה

- חבילה נתקלת במכשול

שאלה 1

נתונה חבילת אוויר בטמפרטורה של 303K ובגובה של 30 מטרים מעל פני הקרקע. טמפרטורה של הסביבה הינה 294K .

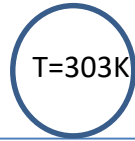
חשב/י הגובה המקסימלי שחבילת האוויר יכולה להגיע אליו עבור מפל טמפרטורה סביבתי שלילי של 0.005 מעלות למטר.

הנחה : אין התעבות במהלך עליית חבילת האוויר

Z=?

פתרון שאלה 1:

Z=30 m



Z=0

$T_{\text{סביבה}} = 294\text{K}$

שלב 1: למצוא את טמפרטורה של החבילה בגובה אפס.

$$T_{\text{חבילה}} = T_0 + \Delta z \cdot \left(-\frac{dT}{dz} \right)$$

$$303\text{K} = T_0 + 30\text{m} \cdot \left(-0.0098 \frac{\text{K}}{\text{m}} \right)$$

$$T_0 = 303\text{K} + 30\text{m} \cdot \left(0.0098 \frac{\text{K}}{\text{m}} \right)$$

$$T_0 = 303.3\text{K}$$

שלב 2: חישוב הגובה בו תהיה אותה טמפרטורה לחבילה ולסביבה.

$$T_{\text{חבילה}} = T_{\text{סביבה}}$$

$$T_{0 \text{ parcel}} + \Delta z \cdot \left(-\frac{dT}{dz} \right) = T_{0 \text{ enviroment}} + \Delta z \cdot \left(-\frac{dT}{dz} \right)$$

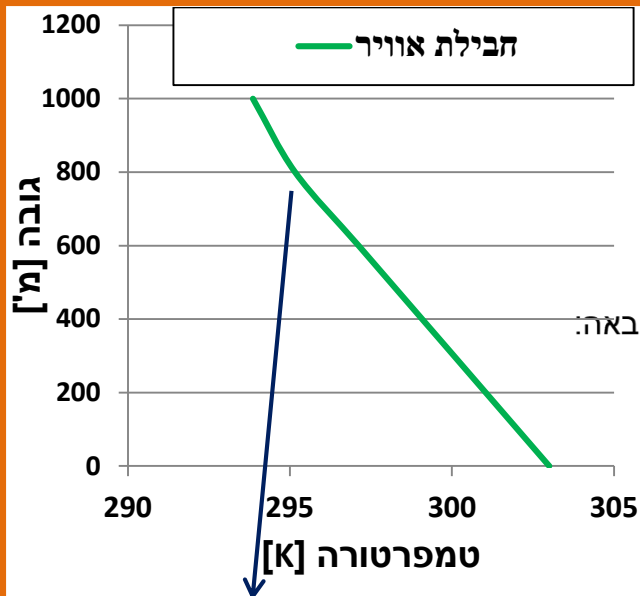
$$303.3\text{K} + \Delta z \cdot \left(-0.0098 \frac{\text{K}}{\text{m}} \right) = 294\text{K} + \Delta z \cdot \left(-0.005 \frac{\text{K}}{\text{m}} \right)$$

$$9.3 = 0.0048 \cdot \Delta z$$

$$\Delta z = 1937.5\text{ m}$$

האם חבילת האוויר תגיע לגובה 2000 מטר ?

שאלה 2



1. חבילת אוויר עולה מגובה $h=0$ לגובה $h=1000\text{m}$. השינוי בטמפ' של החבילה מתואר בטבלה הבאה:

גובה (מ')	טמפ' החבילה (K)
0	303
200	301.04
400	299.08
600	297.12
800	295.16
1000	293.86

9.8
6.5

שינוי מאדיאבטי יבש ללח

- חשבו את מפל הטמפ' (הקצב בו יורדת הטמפ' עם הגובה) של החבילה בין כל שני גבהים וציינו האם הוא מפל אדיאבטי יבש או לח?
- הסבירו מה התהליך שמתרחש בנקודה שבה המפל טמפ' השתנה מאדיאבטי יבש לאדיאבטי לח? מהי טמפ' נק' הטל על פי הנתונים?
- על סמך חישוב טמפרטורת נקודת הטל שמצאתם בסעיף ב' חשבו את הלחות היחסית ואת יחס העירוב בגובה $h=0$.
- טמפ' הסביבה בגובה 0 היא 297 מעלות קלווין, מפל הטמפ' של הסביבה הוא $\bar{5}$ מעלות צלזיוס לק"מ. מה יהיה הגובה בו לחבילת האוויר ולסביבה תהיה אותה טמפרטורה?

סעיף א :

מפל הטמפ' עם הגובה בין 200 ל400 מ'

$$\frac{\Delta T}{\Delta h} = \frac{301.04 - 299.08}{200 - 400} = \frac{-1.96^\circ\text{C}}{200\text{m}} = -0.0098 \frac{^\circ\text{C}}{\text{m}} = -9.8 \frac{^\circ\text{C}}{\text{km}}$$

סעיף ג:

גובה (מ')	טמפר' התבילה (K)
0	303
200	301.04
400	299.08
600	297.12
800	295.16
1000	293.86

9.8
6.5

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \frac{L}{Rv} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$w = \frac{\varepsilon e}{P - e}$$

חישוב יחס עירבוב:

$$e_s(T_{dew}) = e(T)$$

נציב בקלאוזיוס קלפירון:

$$\ln\left(\frac{e}{6.11}\right) = \frac{2.56E6 \left[\frac{J}{kg} \right]}{461 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{295.16} \right)$$

$$P(Td) = e(T) = 28.137 \text{ mbar}$$

$$w = \frac{0.622 \cdot 28.137}{1013 \text{ mbar} - 28.137} = 0.0177$$

חישוב לחות יחסית:

$$e_s(T_{dew}) = e(T)$$

נציב בקלאוזיוס קלפירון:

$$\ln\left(\frac{e}{e_s}\right) = \frac{2.56E6 \left[\frac{J}{kg} \right]}{461 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]} \left(\frac{1}{303} - \frac{1}{295.16} \right)$$

$$RH = \frac{e}{e_s} \cdot 100\% = 61.4\%$$

המשך שאלה 2

1. חבילת אוויר עולה מגובה $h=0$ לגובה $h=1000\text{m}$. השינוי בטמפ' של החבילה מתואר בטבלה הבאה:

גובה (מ')	טמפ' החבילה (K)
0	303
200	301.04
400	299.08
600	297.12
800	295.16
1000	293.86

9.8
6.5



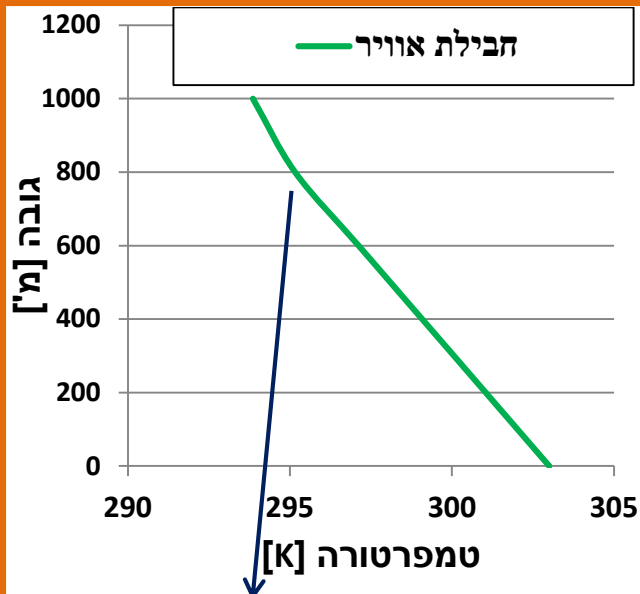
שינוי מאדיאבטי יבש ללח

- חשבו את מפל הטמפ' (הקצב בו יורדת הטמפ' עם הגובה) של החבילה בין כל שני גבהים וציינו האם הוא מפל אדיאבטי יבש או לח?
- הסבירו מה התהליך שמתרחש בנקודה שבה המפל הטמפ' השתנה מאדיאבטי יבש לאדיאבטי לח? מהי טמפ' נק' הטל על פי הנתונים?
- על סמך חישוב טמפרטורות נקודת הטל שמצאתם בסעיף ב' חשבו את הלחות היחסית ואת יחס העירוב בגובה $h=0$.
- טמפ' הסביבה בגובה 0 היא 297 מעלות קלווין, מפל הטמפ' של הסביבה הוא 5 מעלות צלזיוס לק"מ. מה יהיה הגובה בו לחבילת האוויר ולסביבה תהיה אותה טמפרטורה?

סעיף ד: חישוב הנקודה ב מתקיים :

$$T' = T\alpha$$

משוואה לטמפ' הסביבה משוואה לטמפ' החבילה



גובה (מ')	טמפ' החבילה (K)
0	303
200	301.04
400	299.08
600	297.12
800	295.16
1000	293.86

9.8
6.5

שינוי מאדיאבטי יבש ללח

חישוב הנקודה בה $T' = T\alpha$:

משוואה לטמפ' החבילה משוואה לטמפ' הסביבה

$$297K - 0.005 \left[\frac{K}{m} \right] \cdot X [m] = 303K - 0.0098 \left[\frac{K}{m} \right] \cdot X [m]$$

אבל יכול להיות שיש התעבות באמצע !!!

$Z = ?$

$$T_{\text{סביבה}} = T_{\text{חבילה}}$$

$Z=1000 \text{ m}$ $T_{\text{חבילה}} = 293.86 \text{ K}$

$$T_{\text{סביבה}} = 297 \text{ K} - 0.005 \cdot 1000 = 292 \text{ K}$$

אדיאבטה לחה

$$\frac{\Delta T}{\Delta Z} = \frac{-6.5^\circ}{\text{km}}$$

$$T_{\text{סביבה}} < T_{\text{חבילה}}$$

$Z=800 \text{ m}$ $T_{\text{חבילה}} = T_d = 295.16 \text{ K}$

$$T_{\text{סביבה}} = 297 \text{ K} - 0.005 \cdot 800 = 293 \text{ K}$$

אדיאבטה יבשה

$$\frac{\Delta T}{\Delta Z} = \frac{-9.8^\circ}{\text{km}}$$

$$T_{\text{סביבה}} < T_{\text{חבילה}}$$

$Z=0$



$$T_{\text{סביבה}} = 297 \text{ K}, \quad \frac{\Delta T}{\Delta Z} = \frac{-5^\circ}{\text{km}}$$

מתי זה מתקיים, באיזה גובה הנקודה בה $T' = T_d$
טמפ' הסביבה = טמפ' החבילה



גובה (מ')	טמפ' החבילה (K)
0	303
200	301.04
400	299.08
600	297.12
800	295.16
1000	293.86

9.8
6.5

חישוב הנקודה בה $T' = Ta$

שינוי מאדיאבטי יבש ללח

משוואה לטמפ' החבילה משוואה לטמפ' הסביבה

$$297K - 0.005 \left[\frac{K}{m} \right] \cdot X [m] = 303K - 0.0098 \left[\frac{K}{m} \right] \cdot X [m]$$

אבל יכול להיות שיש התעבות באמצע !!!

נבדוק מה טמפ' הסביבה בגובה 800 מ', אז החבילה מתחילה להתעבות:

$$Ta(800m) = 297K - 0.005 \left[\frac{K}{m} \right] \cdot 800 [m] = 293K$$

הסביבה יותר קרה מהחבילה בגובה זה, ומכאן שהחבילה תמשיך לעלות, אבל תתקרר בקצב אדיאבטי לח:

$$293K - 0.005 \left[\frac{K}{m} \right] \cdot X [m] = 295.16K - 0.0065 \left[\frac{K}{m} \right] \cdot X [m]$$

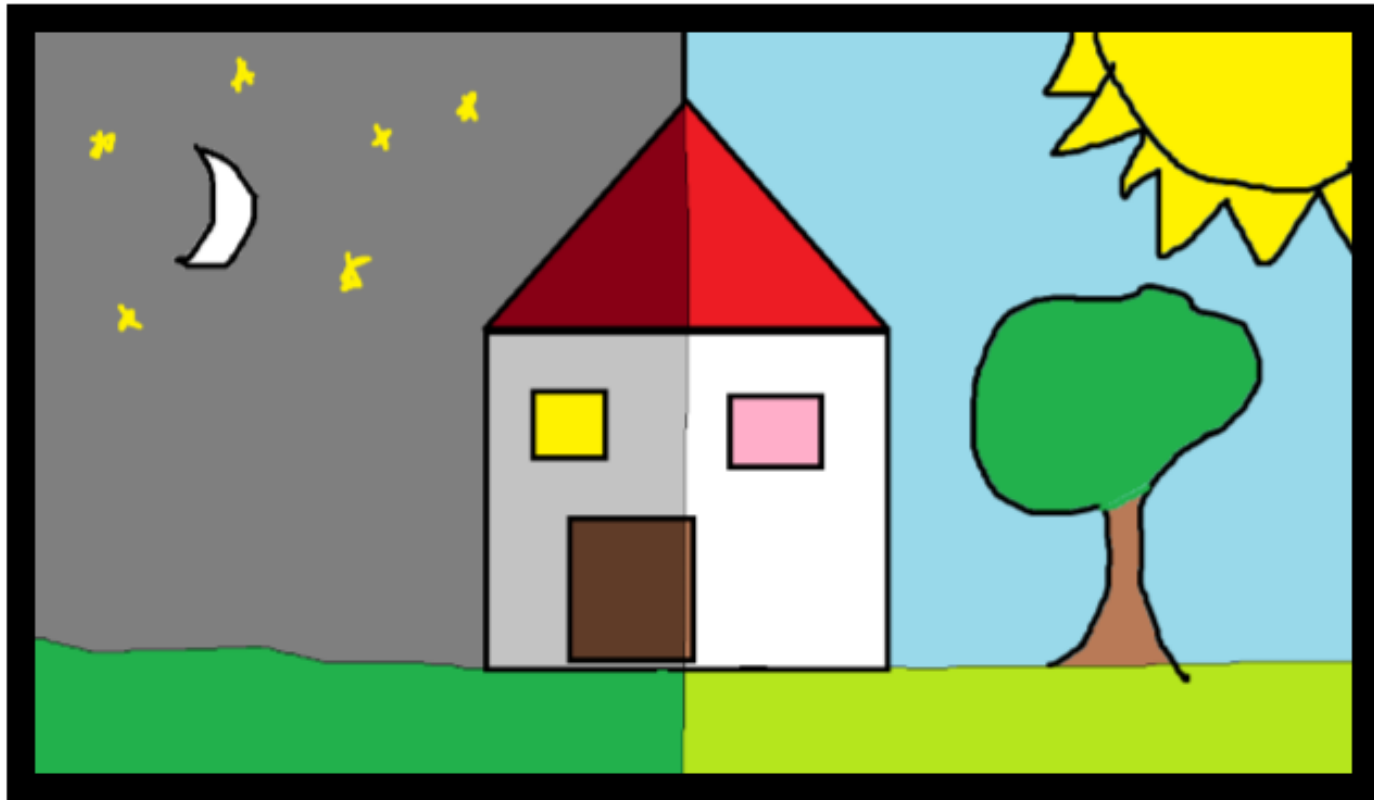
$$1.5 \left[\frac{K}{km} \right] \cdot X = 2.16K$$

$$X = 1440 m$$

שאלה על מצבי יציבות:

מתי נצפה ליותר תנועה אנכית של אוויר?

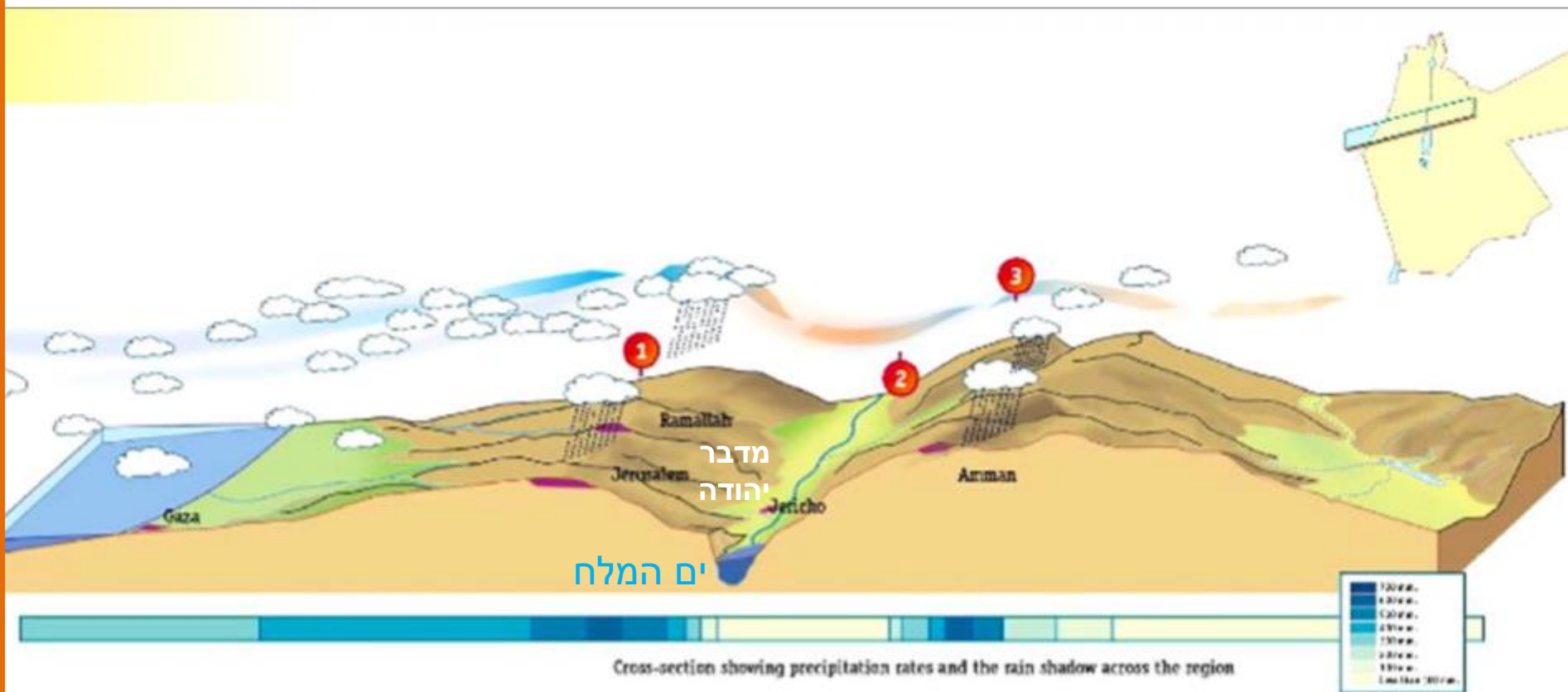
1. בליל חורף בהיר.
2. ביום קיץ בהיר.



מדבר צל גשם



אזור צל הגשם בצד המזרחי של רכסי ההרים בישראל ובירדן



מה אומר שודד ים כשהוא רואה ענן בשמיים כתולים?

- A. יבשה באופק!
- B. סופה מתקרבת!
- C. צפויים גלים!
- D. צפויים דגים!
- E. ספינה באופק!
- F. סופסוף צל!

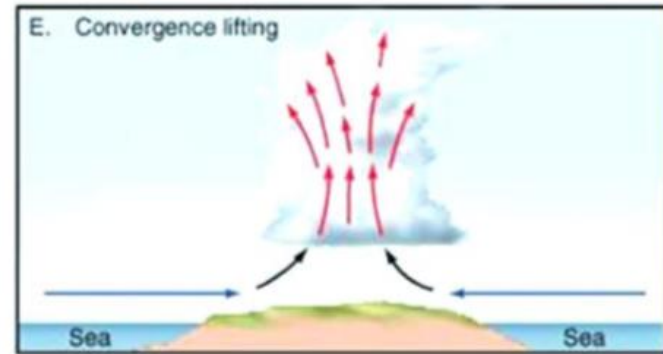
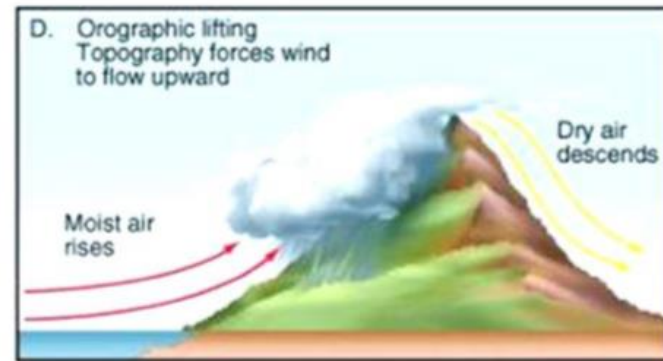
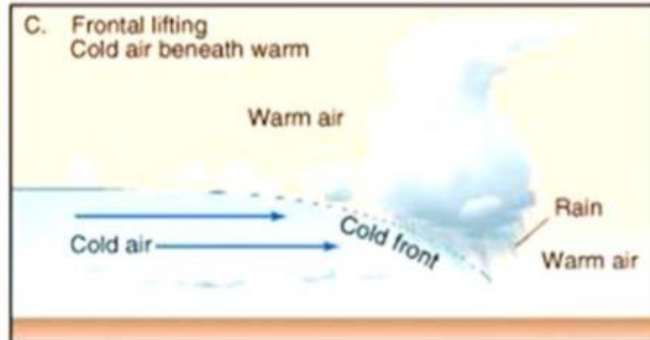
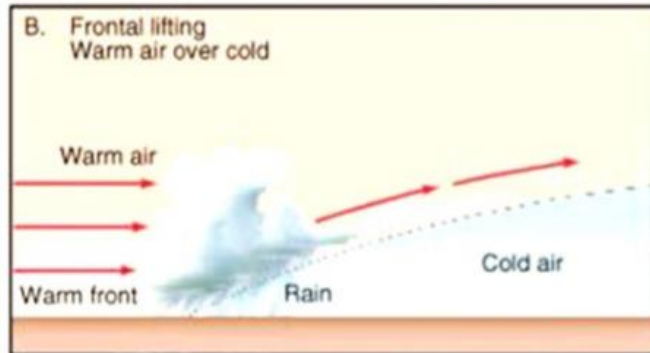
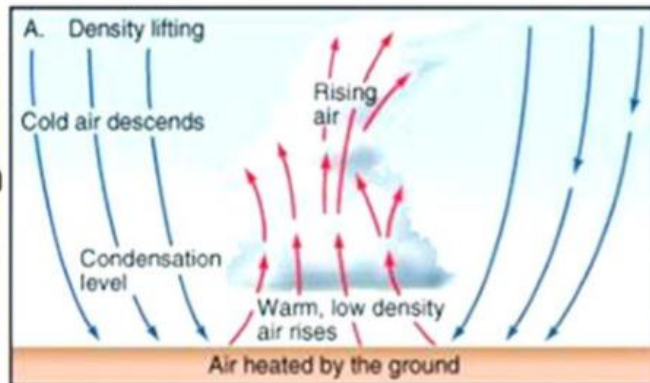


סיבות לעליית אוויר:

מפל לא יציב

התחממות מקומית
קונבקציה חופשית

תזיזת



**אוויר חם עולה מתפשט
ומתקרר.**

**אוויר קר יורד מתכווץ
ומתחמם.**

הפרעות
בזרימה
מכשול
אורוגרפי
קונבקציה
מאולצת

התכנסות