Micrometeorology
Lecture 1

Sahraei

Physics Department

Razi University

https://sci.razi.ac.ir/~sahraei

کارشناسی ارشد هواشناسی / ۳۶

عنوان درس به فارسی:	هواشناسی خردمقیاس		
عنوان درس به انگلیسی:	Micrometeorology	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:	دینامیک شاره های ژئوفیزیکی	پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:	دینامیک جو	تخصصی	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	اختیاری ■	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	٤٨	رساله / پایان‌نامه ☐	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

.....

هدف کلی:

آشنایی با ساختار و با فرایندهای انتقال تکانه، انرژی و ماده در لایه مرزی جوّ ضمن معرفی و اشاره به زمینه‌های مختلف کاربردی آن، شامل مبانی نظری حرکات تلاطمی در لایه مرزی، قوانین همانندی لایه مرزی، بودجه انرژی سطح و زیر سطح و مسئله بستار تلاطمی

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Stull, R. B., ۱۹۸۹: An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Press, ٦٦٦ pp.
۲. Arya, P., ۲۰۰۱: An Introduction to Micrometeorology. ۲nd Ed., Academic Press, ۳۰۷ pp.
۳. Wyngaard, J. C., ۲۰۱۰, Turbulence in the Atmosphere, Cambridge University Press, ٤۰۷ pp.
٤. Foken, T., ۲۰۰۸: Micrometeorology, Springer, ۳۰٦ pp.
٥. Sutton, ۱۹٥٦: Micrometeorology. Cambridge University Press, ۳۸٥ pp.
٦. Bidokhti, A. A., ۲۰۱۸, Fundamentals of Fluid Dynamics, ۲nd Ed., University of Tehran Press.

اهداف ویژه:

آشنایی با نقش عوامل پایداری در تغییرات نمایه‌های قائم متغیرهای فیزیکی در لایه مرزی جوّ و آشنایی با الگوی لایه‌های مرزی خنثی، ناپایدار و پایدار

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه: معرفی هواشناسی خردمقیاس یا لایه مرزی جوّ، انتقال تلاطمی، ساختار لایه مرزی در شرایط مختلف
۲. ناپایداری و تلاطم: طیف حرکات تلاطمی جوّ، خواص آماری تلاطم، میانگین‌گیری رینولدز، نظریه همانندی کولموگرف، شارهای پیچکی تکانه و گرما، مقیاس‌های سرعت، سرعت اصطکاکی، دما و سرعت همرفتی
۳. معادلات حاکم بر تلاطم: معادلات آنی و معادلات شارش میانگین، نمونه‌هایی از نیم‌رُخ کمیت‌های تلاطمی در لایه مرزی جوّ، معادلات پیش‌یابی واریانس‌ها و شارهای تلاطم
٤. معادلات انرژی جنبشی تلاطمی و پایداری، عدد ریچاردسون گرادیانی و شاری، طول مونین – اُبخوف، لایه سطحی، گرادیان‌های بدون بعد
٥. مسئله بستار تلاطم: پارامترسازی شارهای تلاطمی، طول آمیختگی، بستارهای تلاطمی مرتبه اول و دوم، مدل‌های بستار محلی، غیرمحلی و هیبریدی (برای نمونه RANS و LES)
٦. شرایط مرزی در سطح زمین: شارهای سطحی، بودجه انرژی سطح، بودجه تابشی سطح، ناهمواری سطح و ضریب پسار، شار گرمای زمین
۷. نظریه همانندی در لایه مرزی: نظریه همانندی مونین- ابخوف، مقیاس‌های همانندی برای لایه سطحی و لایه آمیخته جوّ، نیم‌رخ بی‌بعد دما و سرعت باد در لایه سطحی
۸. ویژگی‌های لایه مرزی جوّ لایه آمیخته همرفتی، مدل‌هایی برای تعیین رشد لایه آمیخته، لایه مرزی پایدار، لایه مرزی جوّ شهری، مدل‌هایی برای نمایه قائم دمای پتانسیلی، مقیاس‌های تلاطم، مشخصه جریان جتی شبانه، نوسان لختی، امواج درونی

Assessment

Answering Questions in English - 10%

Providing Lecture – 10%

Mid semester Exam - 30%

Final Exam - 50%

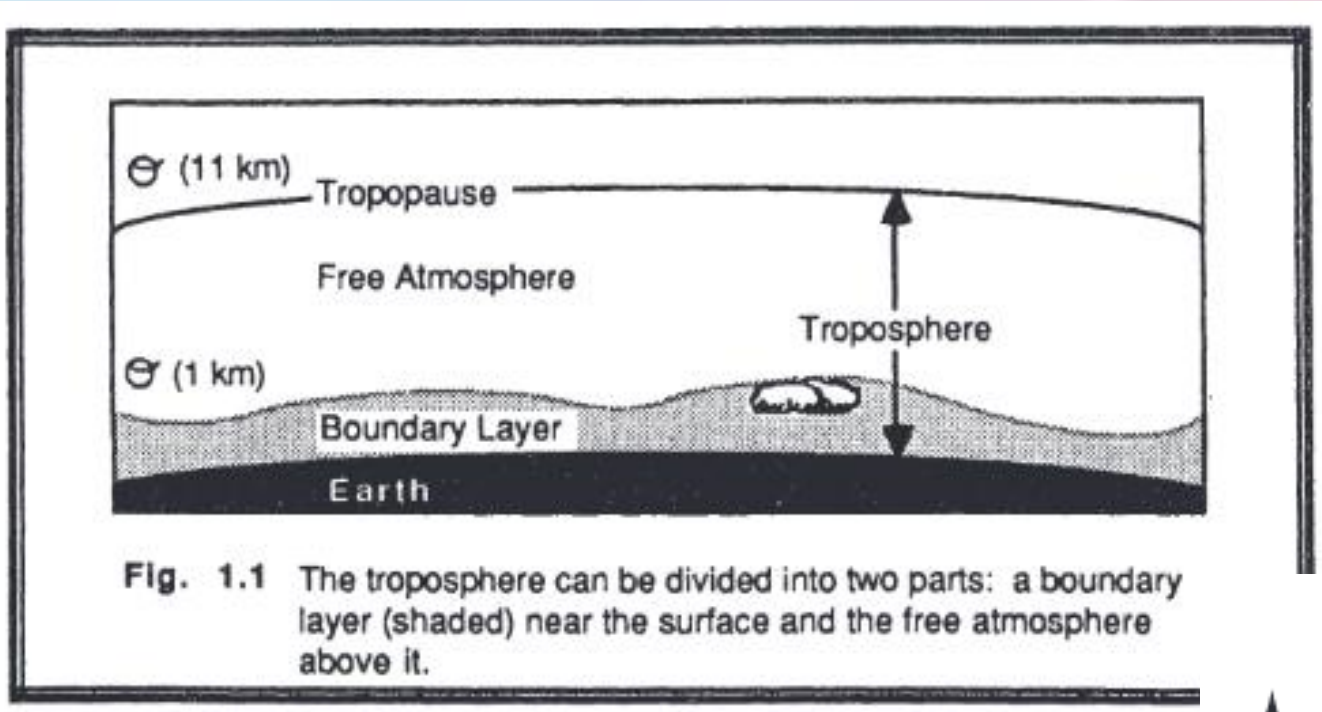


Fig. 1.1 The troposphere can be divided into two parts: a boundary layer (shaded) near the surface and the free atmosphere above it.

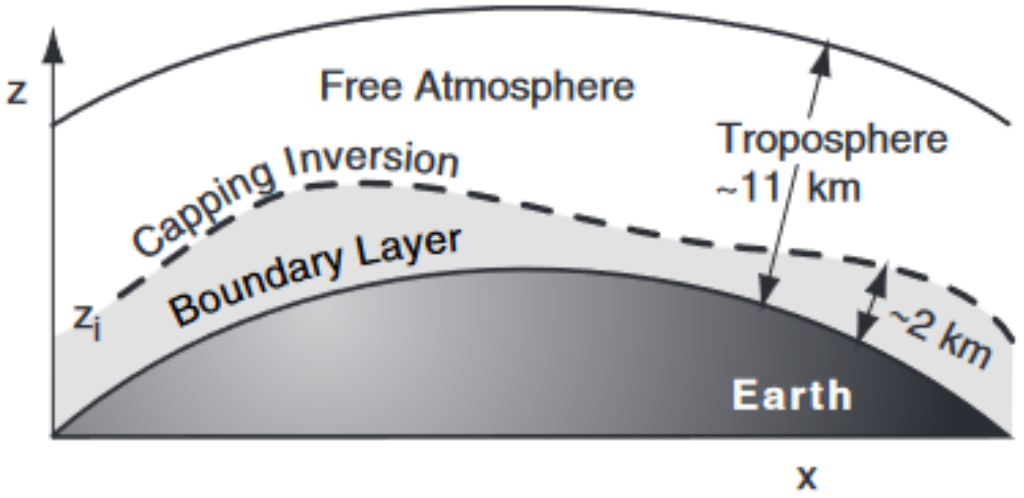


Figure 18.1
Location of the boundary layer, with top at z_i.

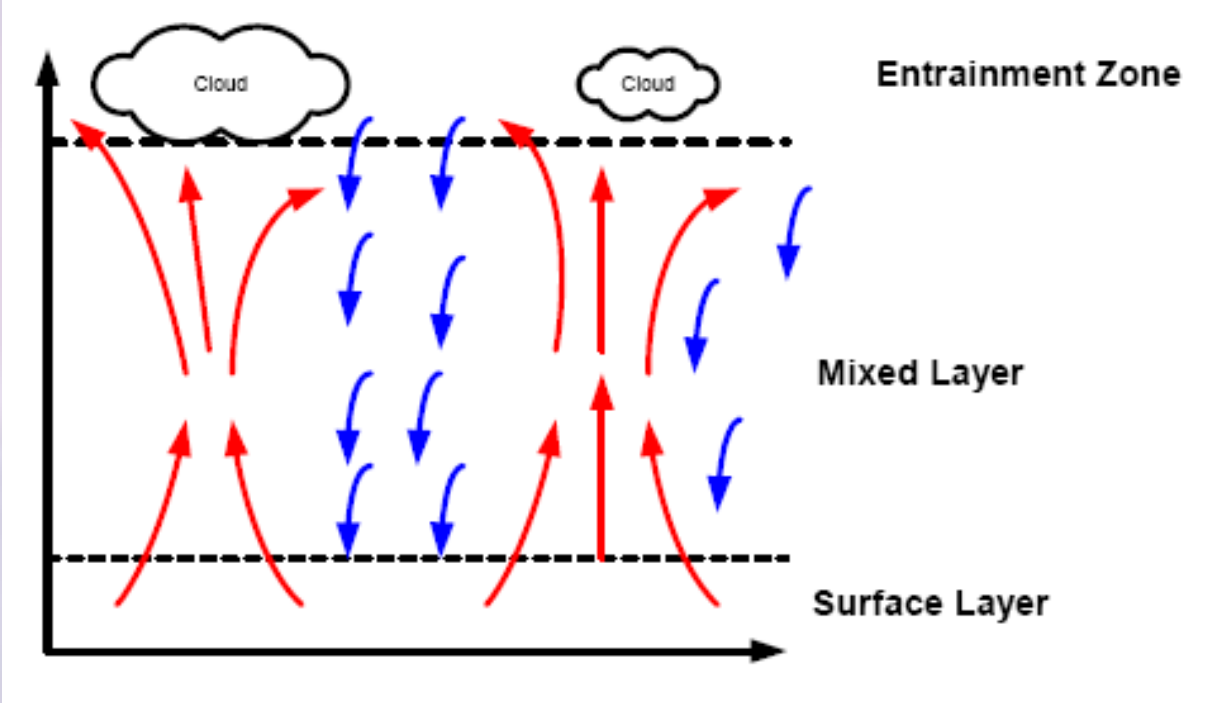
Planetary Boundary Layer

The layer of air influenced by surface friction is called the planetary boundary layer (PBL).

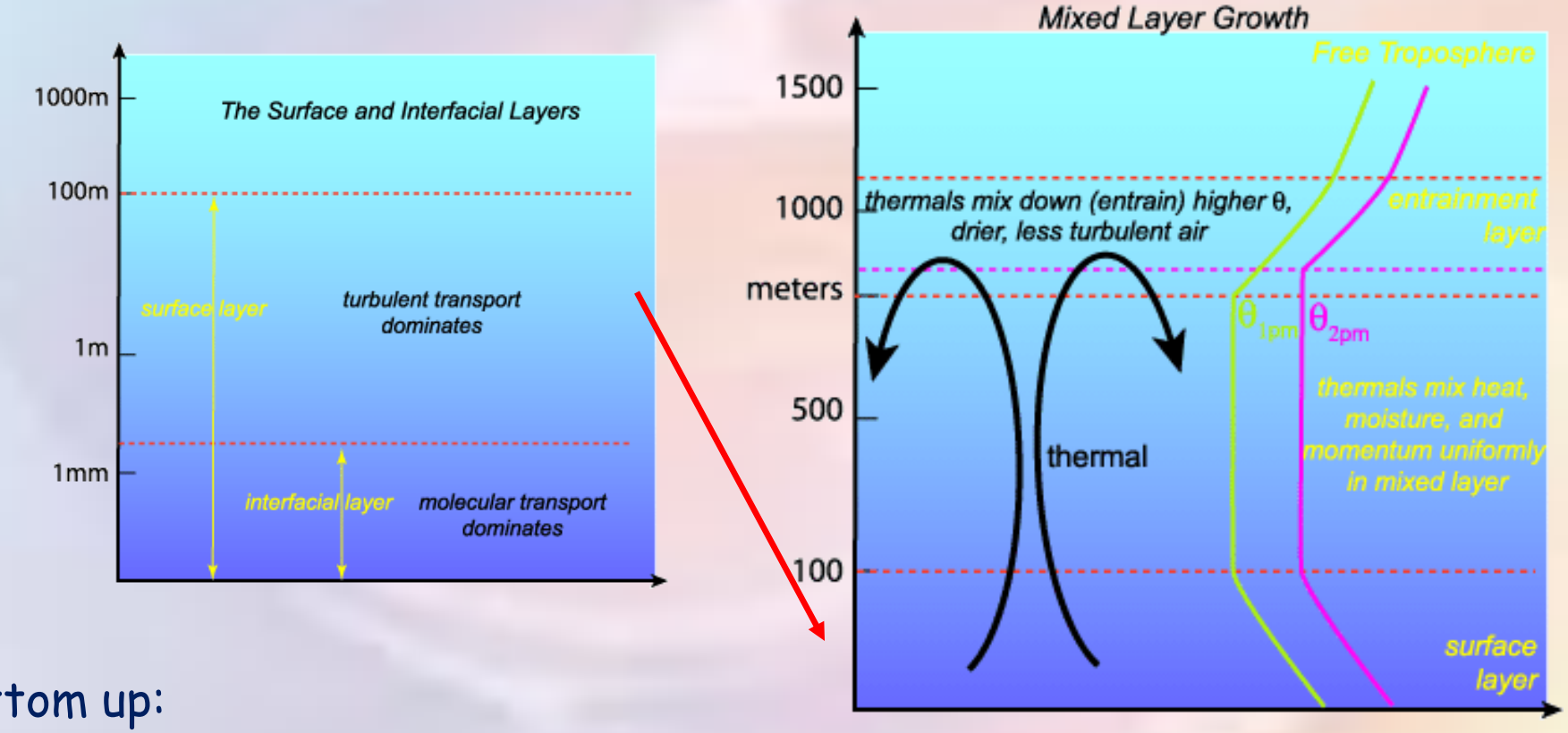
Atmospheric Boundary Layer

The atmosphere above the boundary layer is called the free troposphere, typically.

Conceptual view of the planetary boundary layer



Vertical structure of the boundary layer



From bottom up:

- Interfacial layer (0-1 cm): molecular transport, no turbulence
- Surface layer (0-100 m): strong gradient, very vigorous turbulence
- Mixed layer (100 m - 1 km): well-mixed, vigorous turbulence
- Entrainment layer: inversion, intermittent turbulence

The PBL is defined by the presence of turbulent mixing that couples the air to the underlying surface on a time scale of less than a few hours.

The atmospheric boundary layer is formed as a consequence of strong interactions between the atmosphere and the underlying surface (land or water).

Within PBL, significant exchange of momentum, heat or mass takes place between the surface and the atmospheric air.

PBL height (several tens of meters to several kilometers)

Depend on:

1. rate of heating or cooling of the surface
2. strength of winds
3. the roughness and topographical characteristics of the surface
4. large-scale vertical motions
5. horizontal advections of heat and moisture

Daytime: PBL height on the order of 1 km (0.2-5 km)

Nighttime: PBL height on the order of 100 m (20-500 m)

A strong diurnal variation in meteorological variables can be found within the PBL.

Large diurnal temperature variations (relative to the free troposphere above).

Marine	Continental
Little diurnal variability	Strong diurnal variability
1-2 km (3 max, maybe)	Up to 5 km over deserts

Difference between boundary layer and free atmosphere

The boundary layer is:

- More turbulent
- With stronger friction
- With more rapid dispersion of pollutants
- With non-geostrophic winds while the free atmosphere is often with geostrophic winds

Significance of the boundary layer (BL)

1) People spend most of their lives in the BL.

2) Daily weather forecasts of dew, frost, and maximum and minimum temperatures are really BL forecasts.

3) Pollution is trapped in the BL.

4) Fog occurs within the BL.

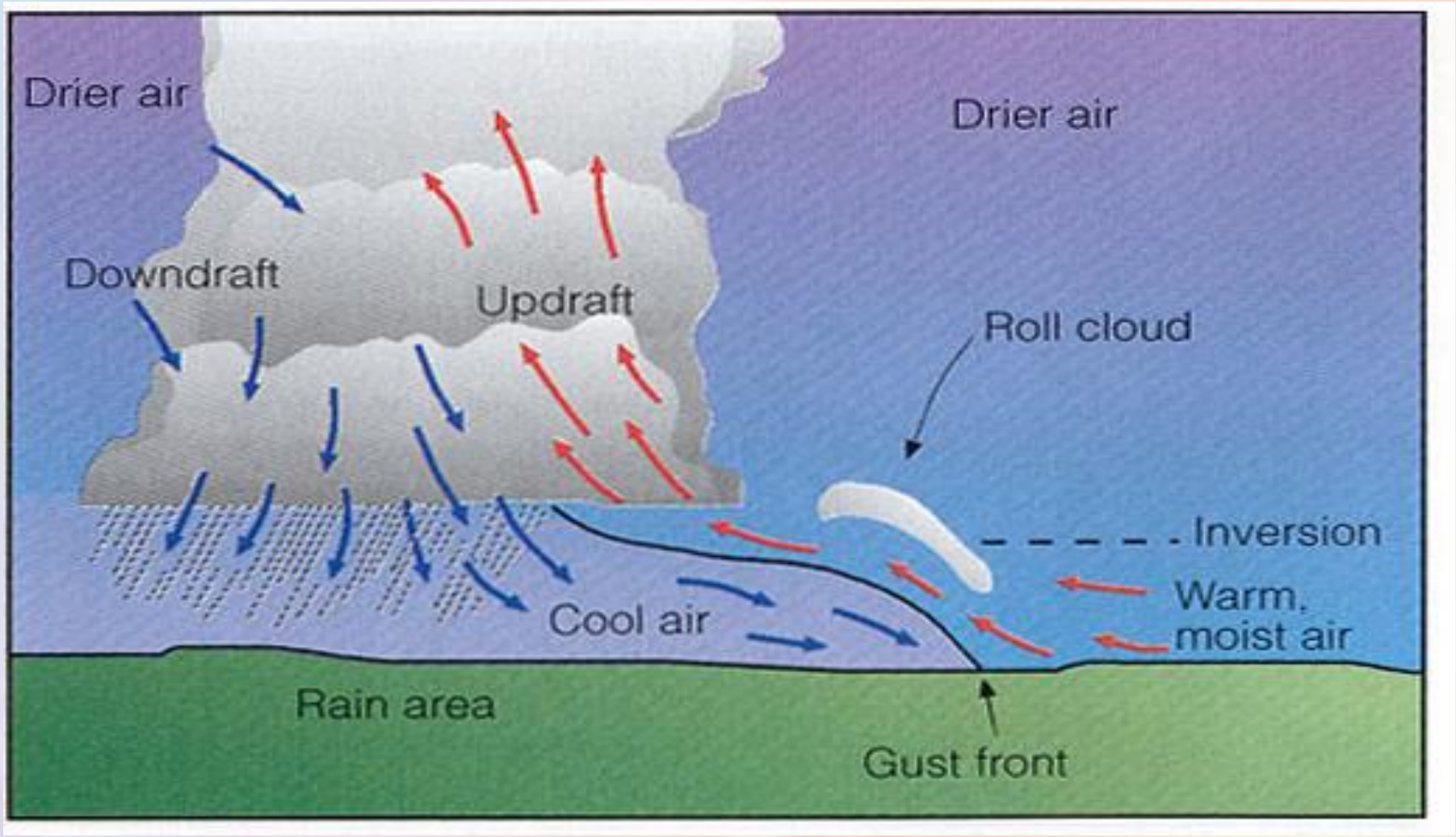
5) The primary energy source for the whole atmosphere is solar radiation, which for the most part is absorbed at the ground and transmitted to the rest of the atmosphere by BL processes.

6) Crops are grown in the BL. Pollen is distributed by boundary layer circulations.

7) Cloud nuclei are stirred into the air from the surface by BL processes.

8) Virtually all water vapor that reaches the FA is first transported through the BL by turbulent and advective processes.

9) Thunderstorm and hurricane evolution are tied to the inflow of moist BL air.

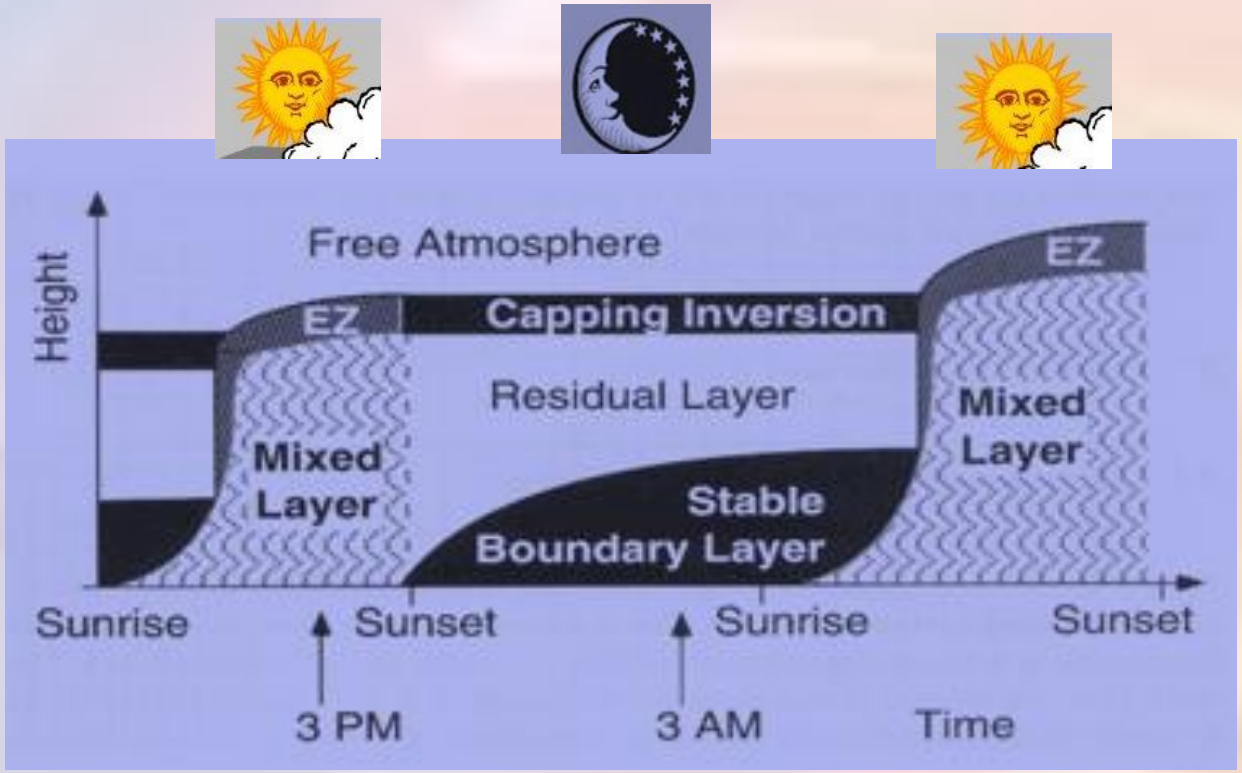


10) About 50% of the atmosphere's kinetic energy is dissipated in the BL.

11) Wind stress on the sea surface is the primary energy source for ocean currents.

PBL structure & evolution

Component of the boundary layer during fair weather



The stable boundary layer over land in the diurnal cycle .

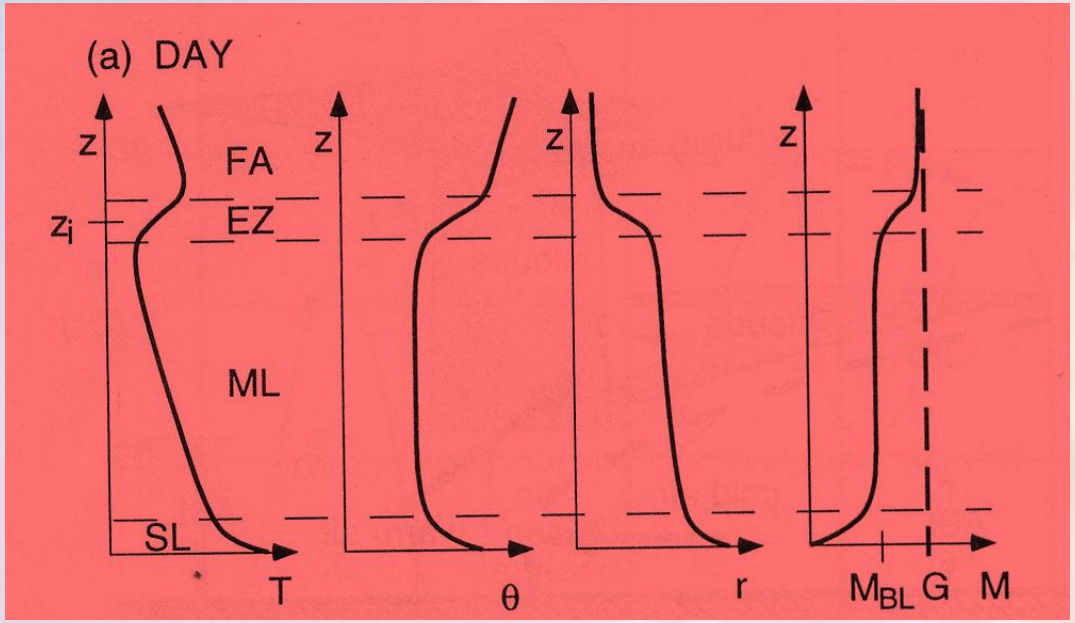
An important scientific challenge is to develop a turbulent mixing scheme which covers all three regimes (Stull, 1988)

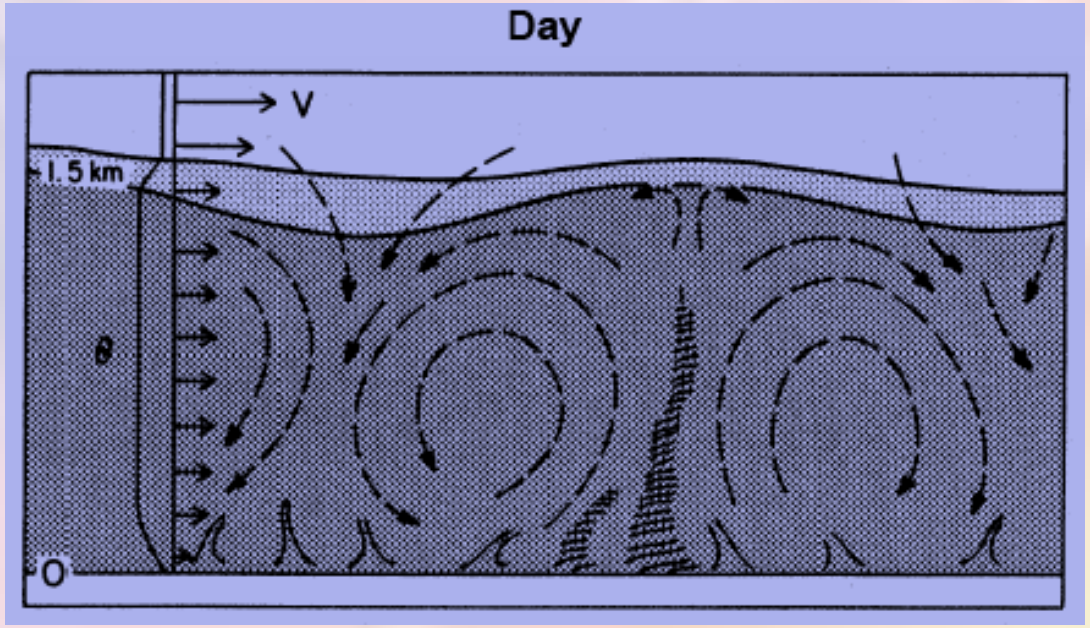
Typical profiles of potential temperature, wind and humidity over land in midlatitudes during cloudless conditions.

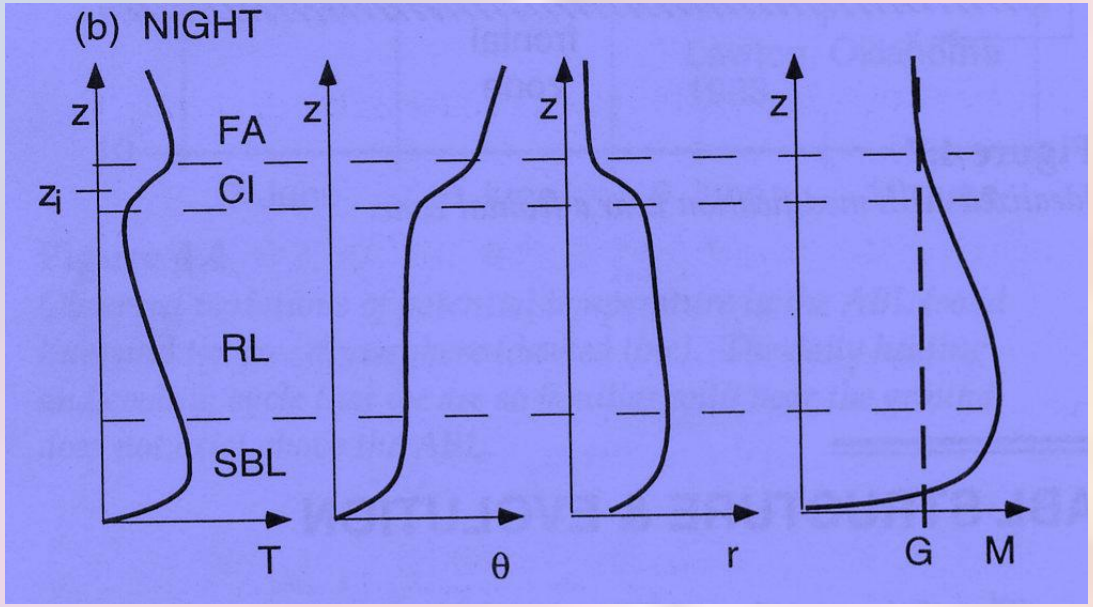
$$\theta = T\left(\frac{P_0}{P}\right)^{R/c_p}$$

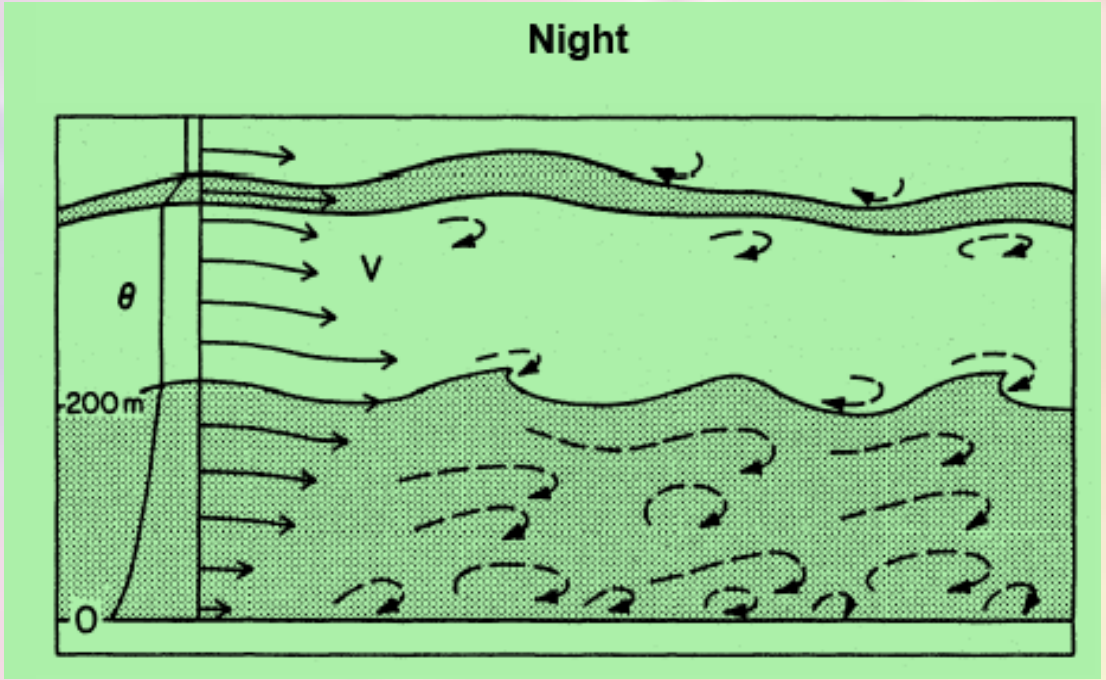
$$q_v = \frac{m_v}{m_d + m_v}$$

$$r = \frac{m_v}{m_d}$$

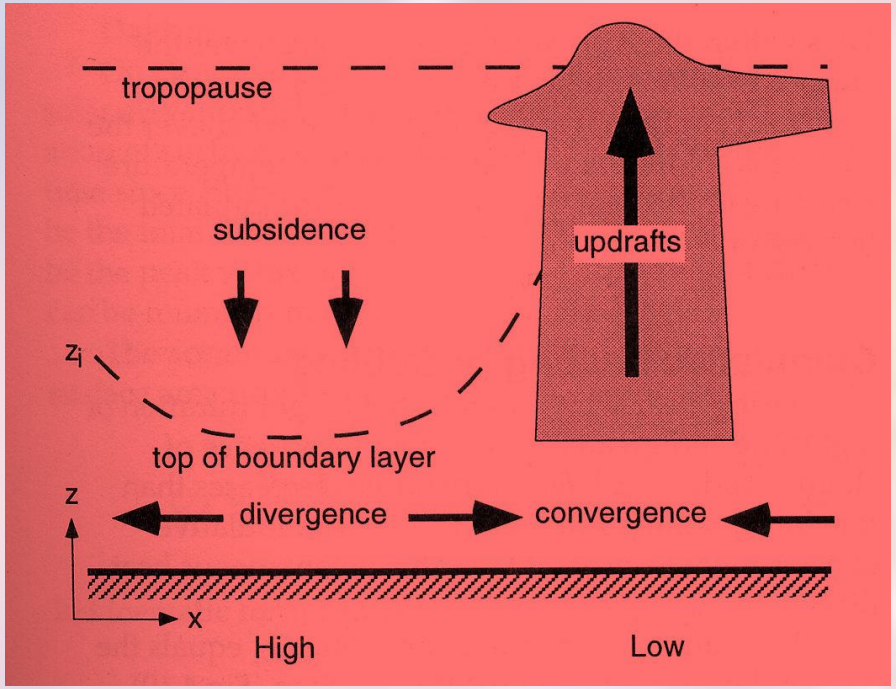


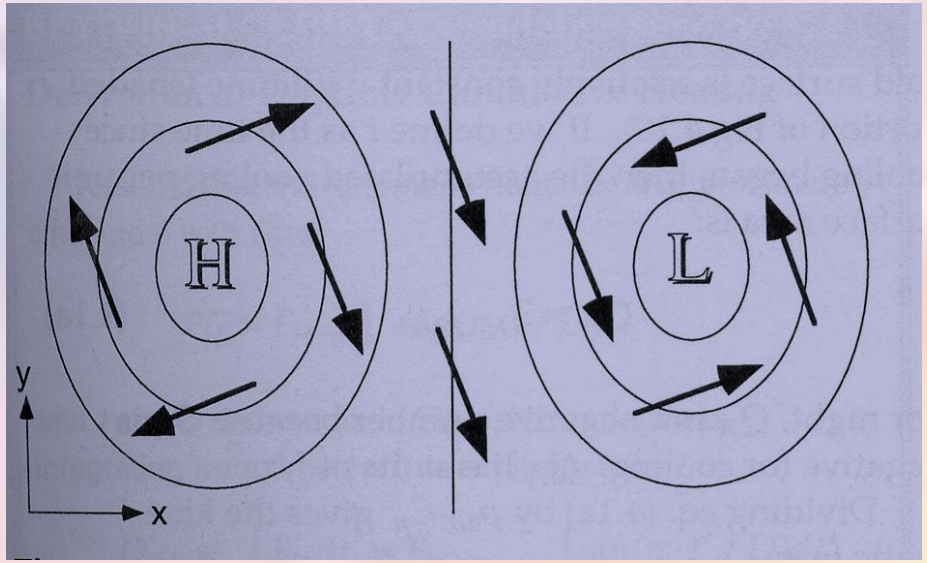



(b) NIGHT
z
z_i
FA
CI
RL
SBL
T
θ
r
G
M

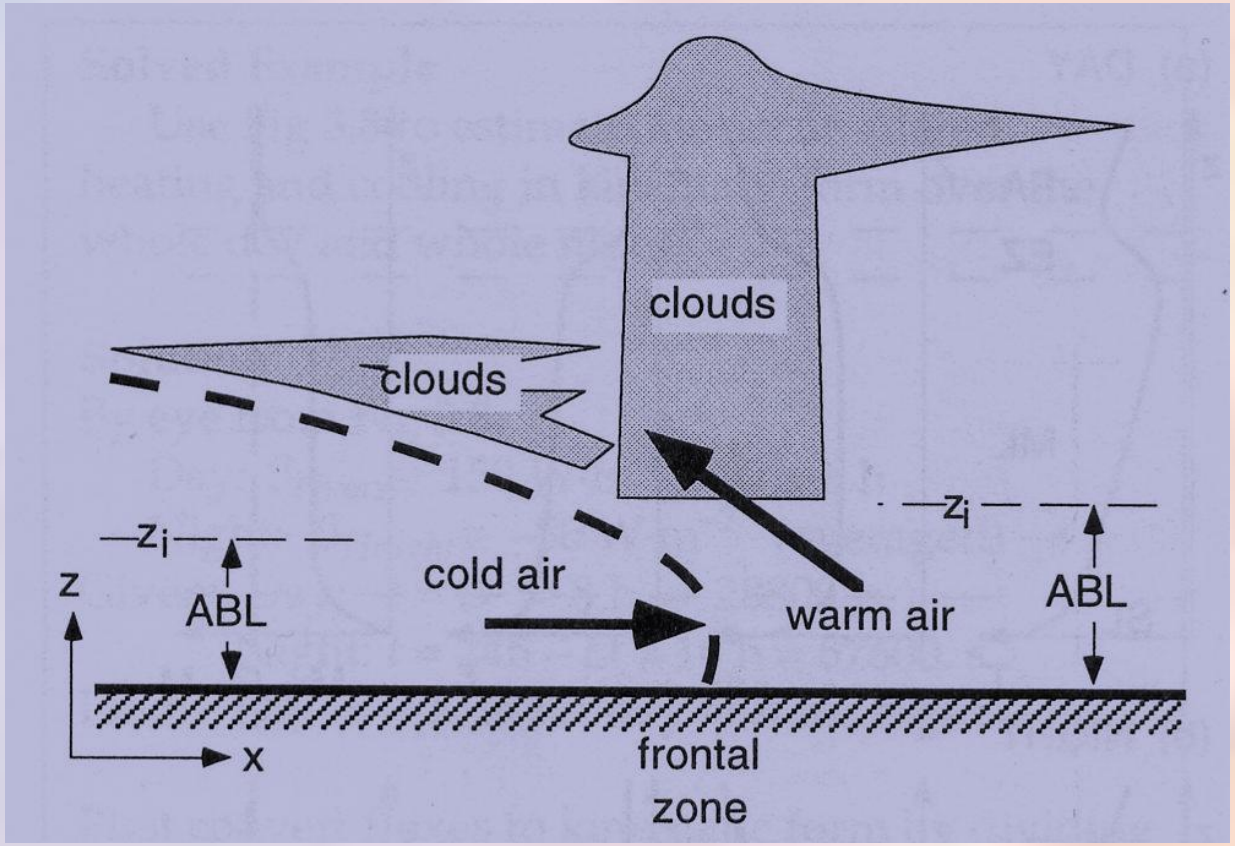

Night
θ
V
200 m
0

Influence of synoptic scale vertical circulation on the PBL



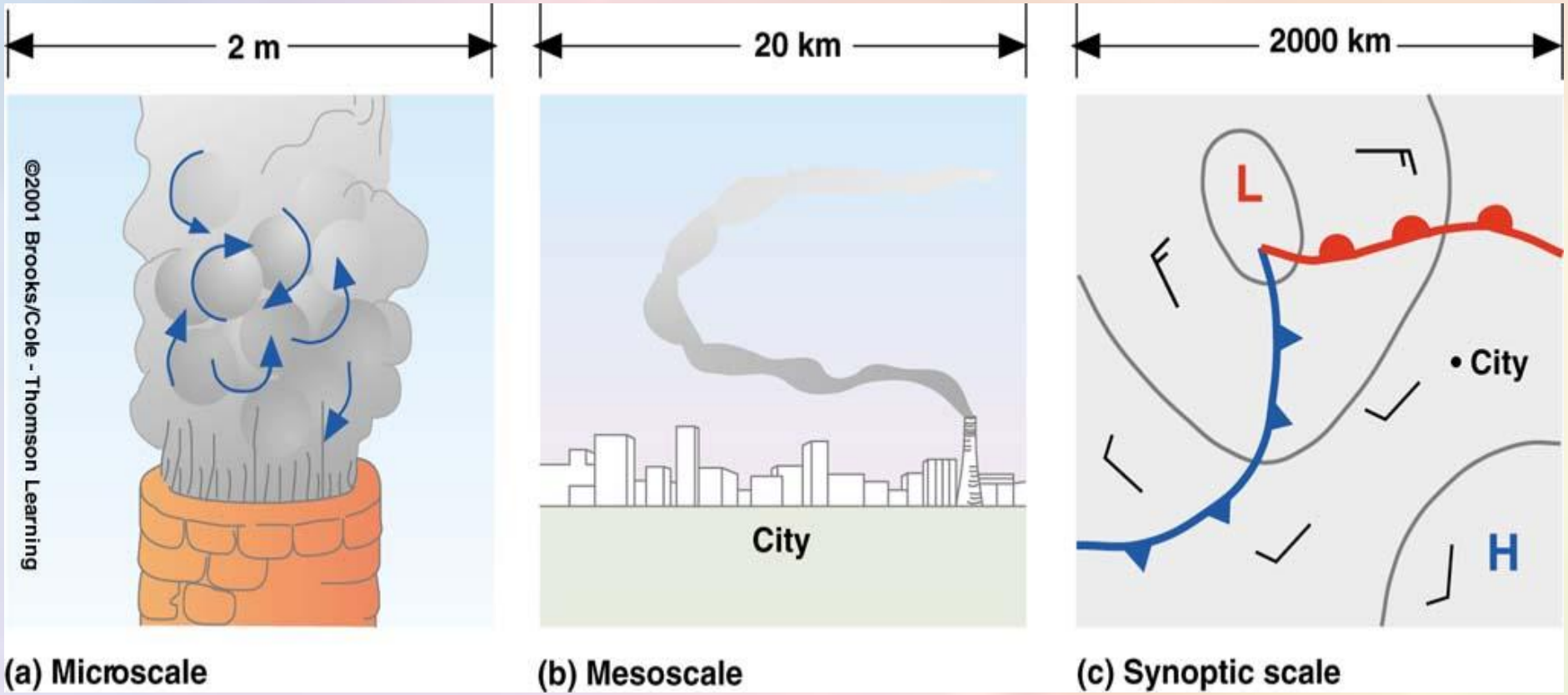


Idealized PBL modification near a frontal zone



Scales of atmospheric motion

The tiny **microscale** motions constitute a part of the larger **mesoscale** motions which, in turn, are part of the much larger **synoptic scale**.



Notice that as the scale becomes larger, motions observed at the smaller scale are no longer visible.