



CHEMIE OVZDUŠÍ

Přednáška č. 1

Organizace studia

- Přednášející: Ing. Marek Staf, Ph.D., tel.: 220 444 458
e-mail: marek.staf@vscht.cz
web: <http://web.vscht.cz/~stafm/>
budova A, ústav 216, č. dveří 162
e-learning:
<https://e-learning.vscht.cz/course/view.php?id=105>
- Rozsah předmětu: zimní semestr
14 přednášek, 14 týdnů, 2 hodiny/týden
- Klasifikace: zkouška - ústní zkouška
- Poznámka: na předmět „Chemie ovzduší“ volně navazuje
„Technologie ochrany ovzduší“ ⇒ prolínání obsahu
cca 10 %

Sylabus předmětu

- Okruh 1. Ovzduší jako základní složka životního prostředí
- Okruh 2. Informační systémy
- Okruh 3. Legislativa v ochraně ovzduší v ČR, významné mezinárodní dohody
- Okruh 4. Fyzikální a chemické vlastnosti atmosféry
- Okruh 5. Přenos energie v atmosféře
- Okruh 6. Pohyb atmosférických hmot - meteorologie – počasí
- Okruh 7. Základní reakce v atmosféře, homogenní a heterogenní reakce
- Okruh 8. Chemické a fotochemické reakce v atmosféře, ionty a radikály, acidobazické reakce
- Okruh 9. Chemie troposférického pozadí, hydroxylový radikál, hydroperoxylový radikál

Sylabus předmětu

- Okruh 10. Reakce troposférického pozadí
- Okruh 11. Reakce vybraných polutantů
- Okruh 12. Chemie tvorby smogů
- Okruh 13. Skleníkový efekt
- Okruh 14. Chemie stratosférického ničení ozonové vrstvy

Osnova přednášky 1

Ovzduší jako základní složka životního prostředí

- Definice atmosféry a její význam a funkce
- Výškové rozvrstvení atmosféry
- Fyzikální charakteristiky atmosféry a její celkové chemické složení
- Detailní popis nejdůležitějších atmosférických vrstev
- Jak magnetické pole ovlivňuje atmosféru
- Atmosféra jako filtr záření

Základní vlastnosti atmosféry

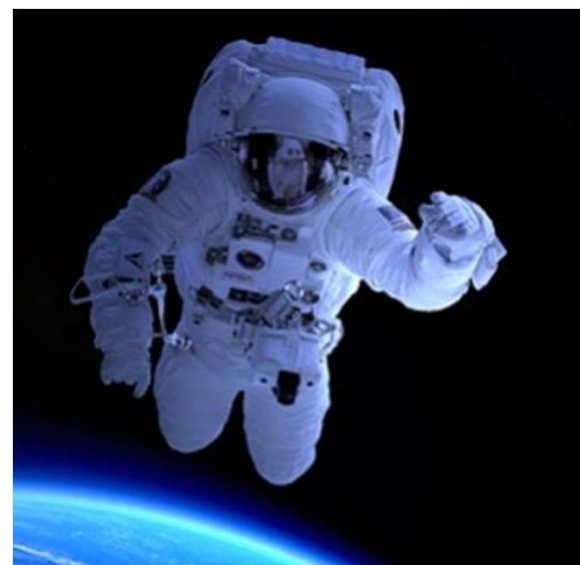
- Výška atmosféry od zemského povrchu cca 560 km (přesnou hranici nelze vymezit; termosféra a exosféra mají dosah větší, viz dále)
- Celková hmotnost atmosféry se odhaduje na $5,15 \times 10^{18}$ kg
(Zdroj: American National Center for Atmospheric Research)
- Výškově je hmotnost atmosféry distribuována takto:
 - cca 50 % do výšky 5,6 km
 - cca 75 % do 11 km
 - cca 90 % do 16 km
 - 99,99997 % do 100 km od povrchu
- Hranice vesmíru 100 km dle Mezinárodní letecké federace – tzv. Kármánova hranice (při letu pod K. hranici označení „pilot“, nad ní „astronaut“)
- Hranice vesmíru 50 mil = 80 km dle NASA
- Do Kármánovy hranice se hovoří o nadmořské výšce, nad ní o vzdálenosti od Země

Základní vlastnosti atmosféry

- Hranice vesmíru 100 km dle Mezinárodní letecké federace – tzv. Kármánova hranice (při letu pod K. hranici označení „pilot“, nad ní „astronaut“)
- Hranice vesmíru 50 mil = 80 km dle NASA
- Do Kármánovy hranice se hovoří o nadmořské výšce, nad ní o vzdálenosti od Země



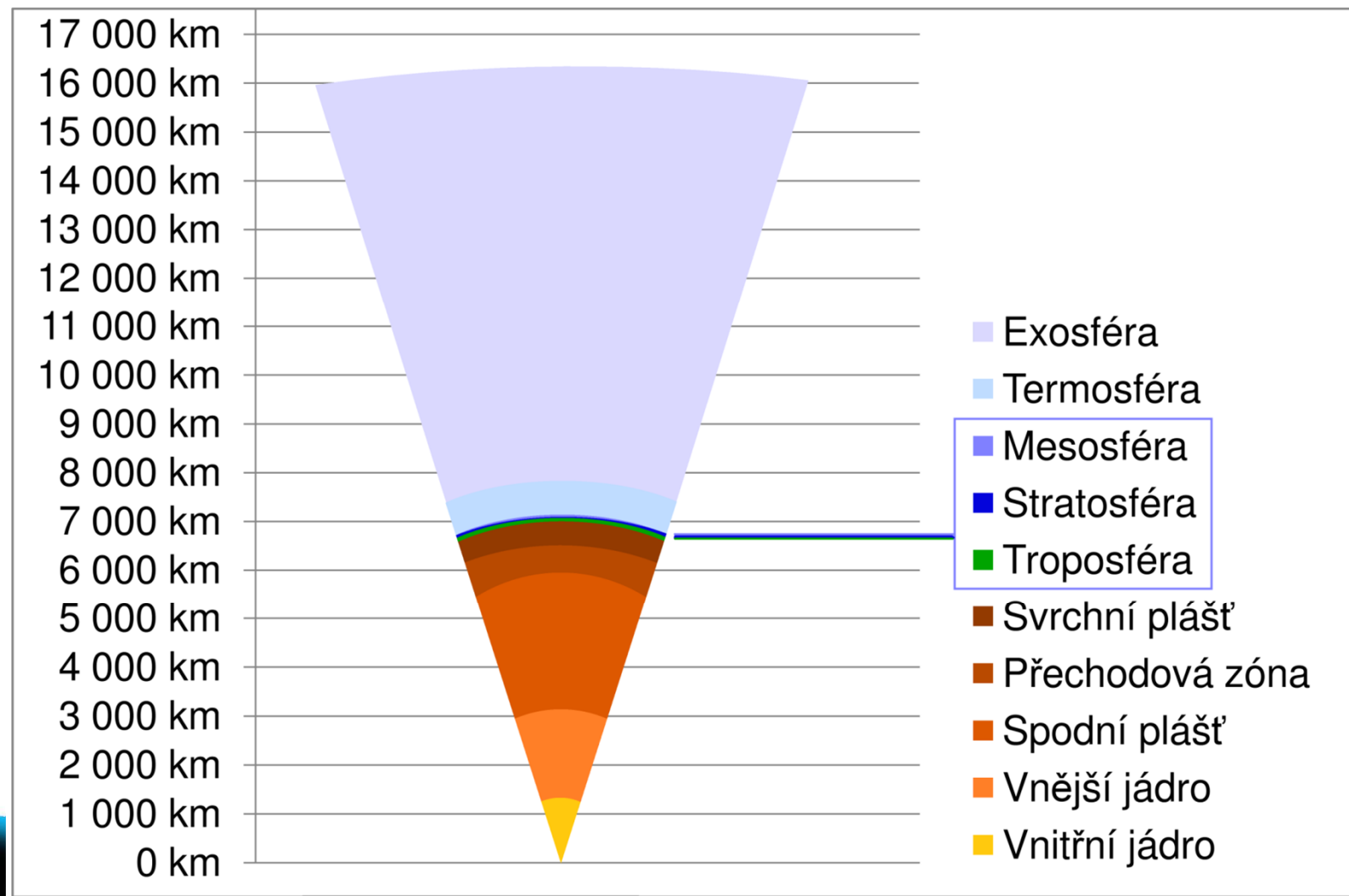
nebo



?

Základní vlastnosti atmosféry

- Podíl atmosféry na celkové hmotnosti planety $8,62 \cdot 10^{-5} \%$ (tj. < miliontina hmotnosti Země, činící $5,972 \cdot 10^{24}$ kg)



Rozvrstvení (stratifikace) atmosféry

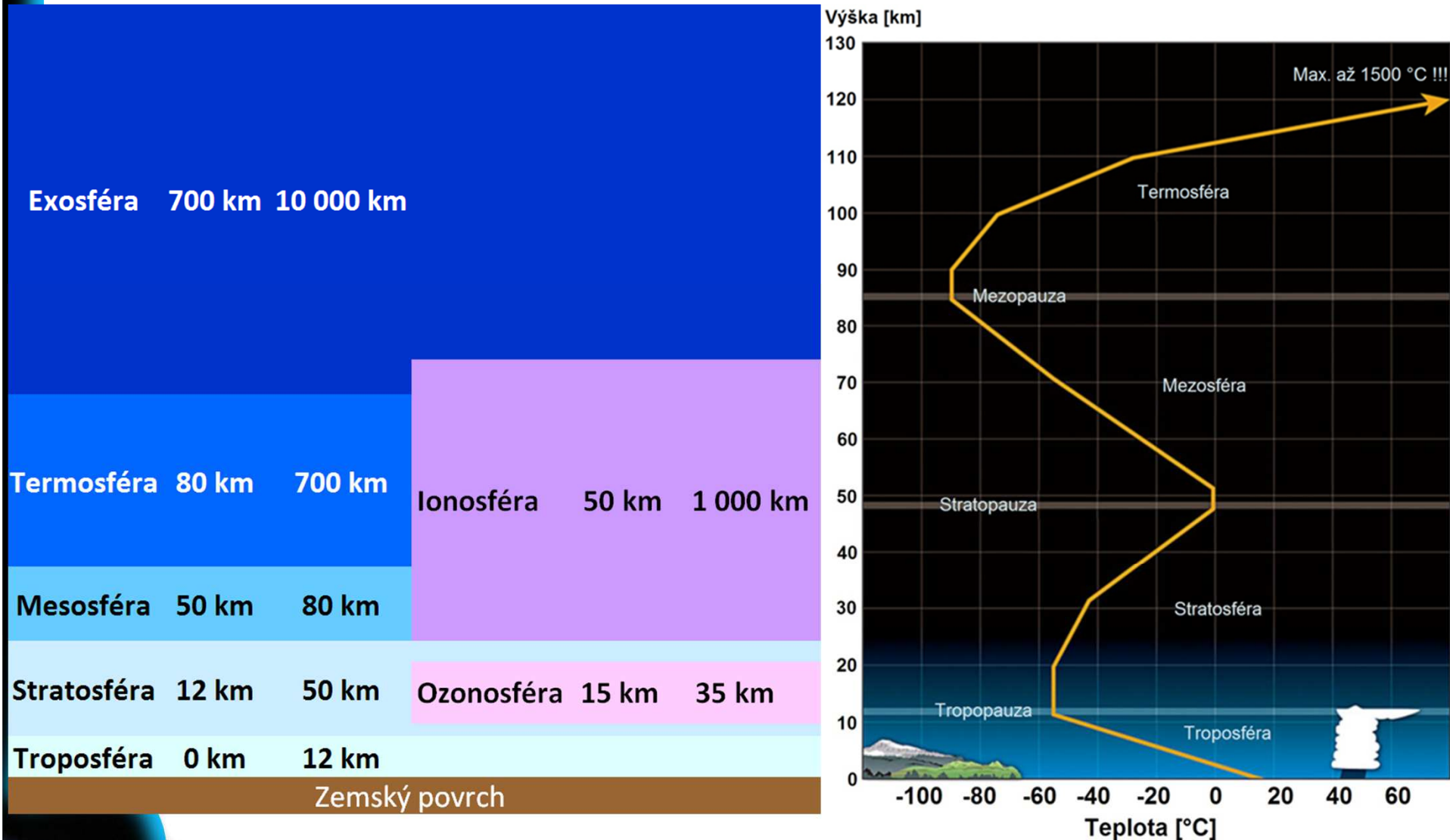
- Atmosféru lze vrstvit dle různých kriterií (Zdroj: Kleczek, J. Toulky Vesmírem)
- Podle teploty:
 - troposféra
 - stratosféra
 - mezosféra
 - termosféra
- Podle chemických vlastností:
 - ekosféra
 - troposféra
 - stratosféra
 - chemosféra
 - ozonosféra
 - ionosféra
 - mezosféra

Rozvrstvení (stratifikace) atmosféry

- Atmosféru lze vrstvit dle různých kriterií (Zdroj: Kleczek, J. Toulky Vesmírem)
- Podle elektrických vlastností
 - neutrosféra
 - ionosféra
- Podle pohybů
 - troposféra
 - stratosféra
- Podle stejnorodosti
 - heterosféra
 - homosféra
- Podle teploty a hustoty v závislosti na nadmořské výšce – nejdůležitější stratifikace (viz další snímek)

Rozvrstvení (stratifikace) atmosféry

Atmosférické vrstvy a teploty (dle NASA a National Weather Service)



Vztah nadmořské výšky a parametrů

■ Vyjadřování tlaku v meteorologii:

Dle SI přípustný pouze	Pascal	[Pa] = [N.m ⁻²]
Tradičně užívány ještě:	Torr	[Torr]
	Bar	[bar]
	Konvenční mm rtuťového sloupce	[mm Hg]
	Konvenční mm vodního sloupce	[mm H ₂ O]
	Fyzikální atmosféra	[atm]
V meteorologii násobky:	Milibar	[mbar]
	Hektopascal	[hPa]

	Torr	Pa	hPa	bar	mbar	mm Hg	mm H ₂ O	atm
1 Torr =	1	133,322	1,333	0,001	1,333	1	13,595	0,001
1 Pa =	0,008	1	0,01	1E-05	0,01	0,008	0,102	9,869E-06
1 hPa =	0,750	100	1	0,001	1	0,750	10,197	9,869E-04
1 bar =	750,064	100 000	1 000	1	1 000	750,064	10 196,798	0,987
1 mbar =	0,750	100	1	0,001	1	0,750	10,197	9,869E-04
1 mm Hg =	1	133,322	1,333	1,333E-03	1,333	1	13,595	1,316E-03
1 mm H ₂ O =	0,074	9,807	0,098	9,807E-05	0,098	0,074	1	9,679E-05
1 atm =	760,002	101 325	1 013,250	1,013	1 013,250	760,002	10 331,906	1

Vztah nadmořské výšky a parametrů

- Výpočet tlaku v závislosti na nadmořské výšce (Zdroj: The Engineering ToolBox)

Používán empirický vzorec $p = 101\,325 \cdot (1 - 2,25577 \cdot 10^{-5} \cdot h)^{5,25588}$

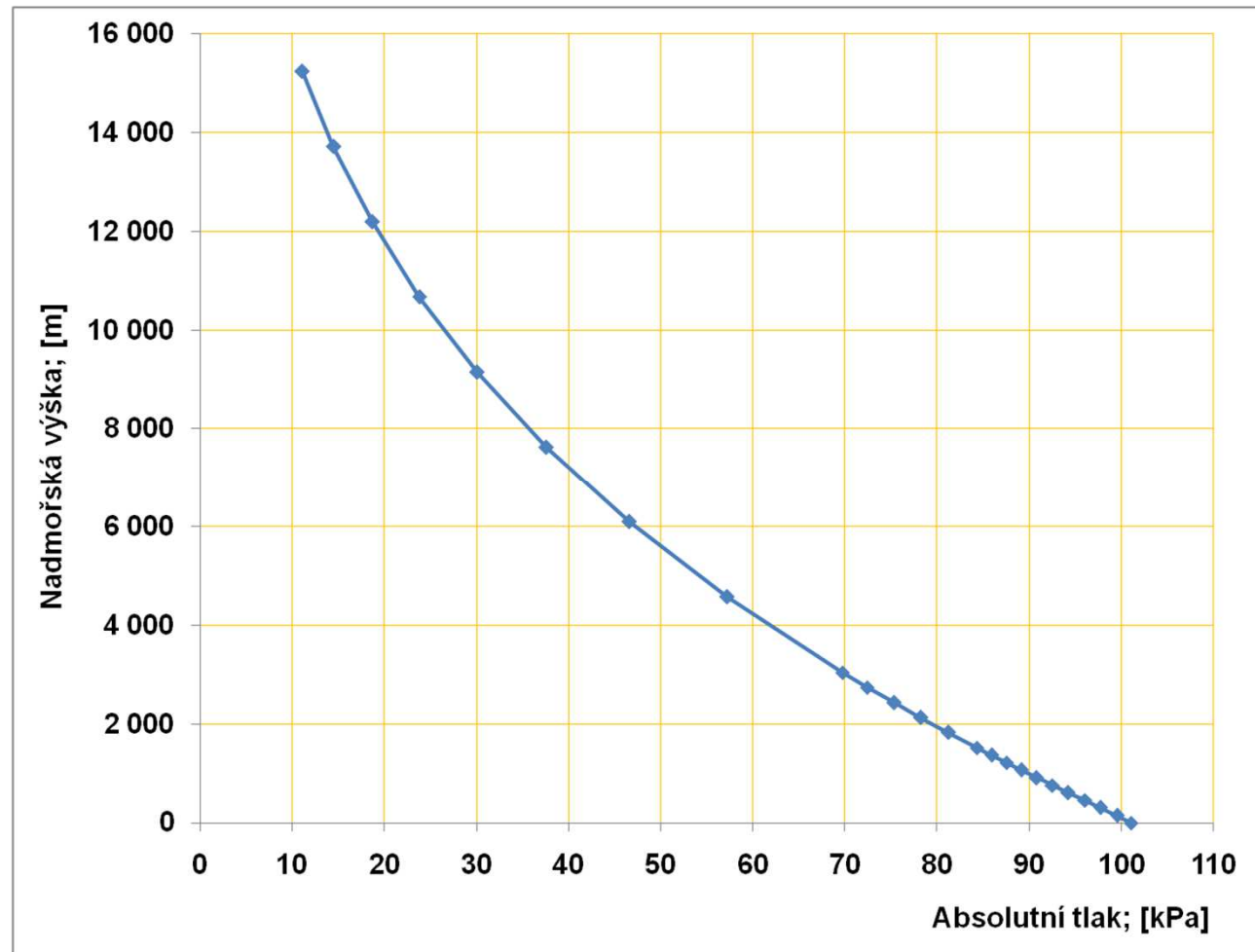
Ve vzorci je

p ... tlak [Pa]

h ... nadm. výška [m]

(Platný pouze

do cca 20 km)



Vztah nadmořské výšky a parametrů

- Společná závislost p a T na nadmořské výšce (Zdroj: Engineering Smart Technology Products)

Alternativní vzorec pro atmosférický tlak s širšími mezemi platnosti

$$p = p_s \cdot e^{\left[\frac{g \cdot M \cdot (h - h_s)}{R \cdot T_s} \right]}$$

Ve vzorci je p ... tlak v dané nadmořské výšce [Pa]

p_s ... tlak na hladině moře [Pa]

g ... tíhové zrychlení $9,80665 \text{ m.s}^{-2}$

M ... průměrná molární hmotnost vzduchu
 $0,0289644 \text{ kg.mol}^{-1}$

R ... molární plynová konstanta $8,31432 \text{ N.m.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

T_s ... průměrná teplota na hladině moře [K]

h ... nadmořská výška [m]

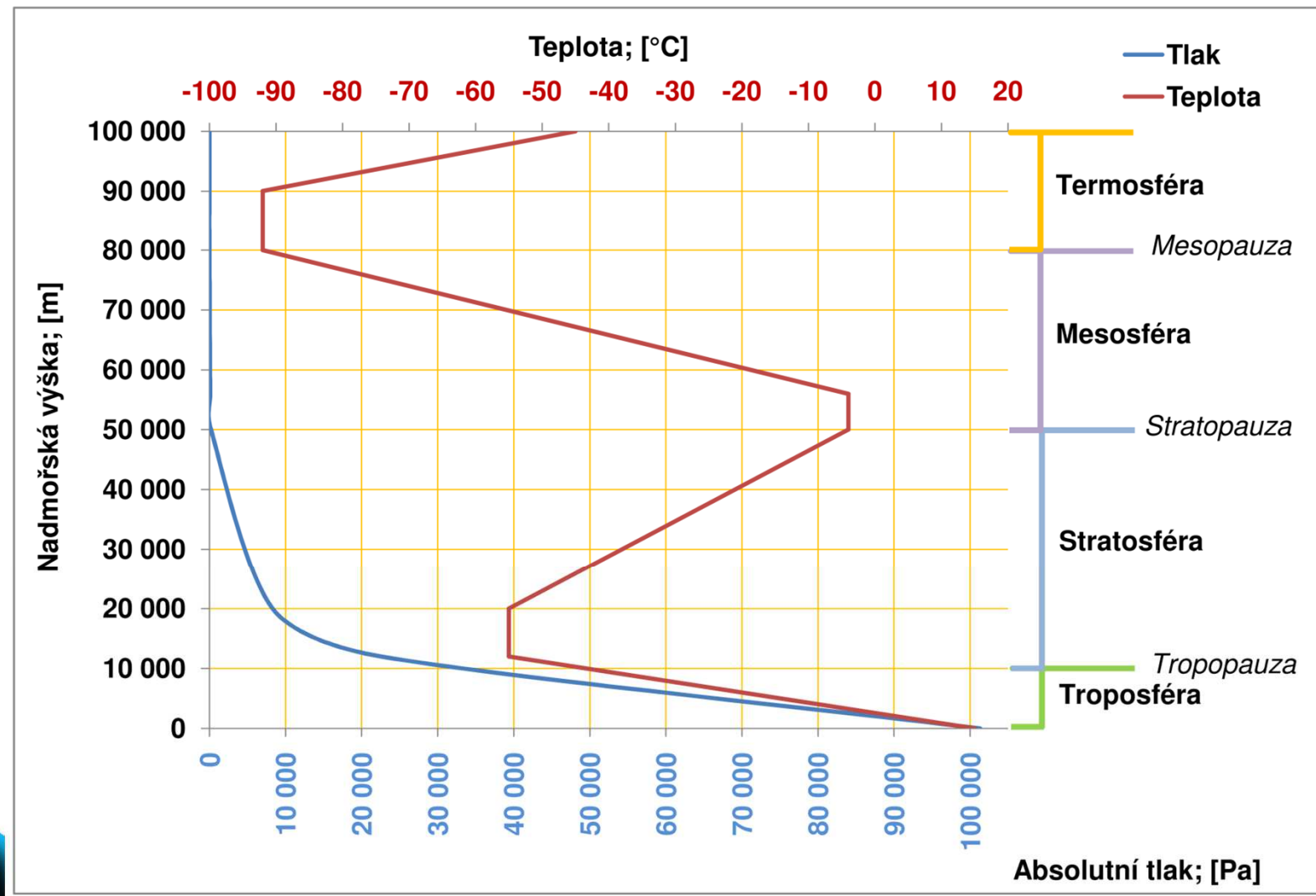
h_s ... referenční výška 0 m

Vztah nadmořské výšky a parametrů

- S použitím vzorce

$$p = p_s \cdot e^{\left[\frac{g \cdot M \cdot (h - h_s)}{R \cdot T_s} \right]}$$

získán graf:



Vztah nadmořské výšky a parametrů

- Příklad: Mount Everest
 - výška = 8 848 m (nad mořem)
 - průměrný tlak vzduchu = 33,7 kPa (33 % standardního tlaku)



Základní chemické složení atmosféry

- Chemické složení suché atmosféry (objemově):

N ₂	78,08 %;	O ₂	20,95 %;	Ar	0,93 %
CO ₂	0,04 %;	Ne	18,18×10 ⁻⁴ %;	He	5,25×10 ⁻⁴ %
CH ₄	2×10 ⁻⁴ %;	Kr	1,14×10 ⁻⁴ %;	N ₂ O	0,5×10 ⁻⁴ %;
H ₂	0,5×10 ⁻⁴ %;	Xe	0,087×10 ⁻⁴ %;	O ₃	0-0,07×10 ⁻⁴ %
SO ₂	0-1×10 ⁻⁴ %;	NO ₂	0-0,02 ×10 ⁻⁴ %		

H₂O celkem reprezentuje 0,25 % celkové hmotnosti atmosféry.

Charakteristika vrstev atmosféry

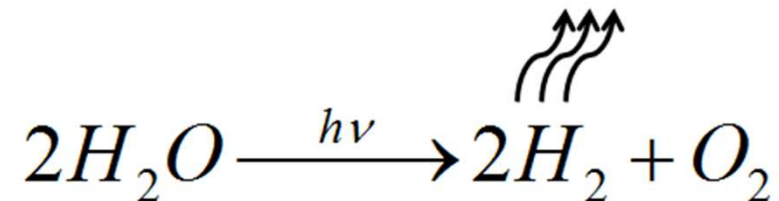
■ Troposféra

- průměrný dosah 12 km
- mocnost závisí na zeměpisné šířce a ročním období
- u pólů mocnost 8 – 9 km, nad rovníkem až 17 km
- reprezentuje 85 % hmotnosti atmosféry
- má 2 dílčí vrstvy:
 - Planetární hraniční vrstva (PBL)
 - Volná troposféra
- PBL má sílu cca 1 km; silně turbulentní vlivem kontaktu s reliéfem ⇒ mísení plynu vč. škodlivin z emisí
- volná troposféra s poklesem teploty (negativní T gradient) až na -55 °C ve středním zeměpisném pásmu; složení plynů homogenní, mísení nezávislé na reliéfu (dáno tlakovými gradienty a Coriolisovou silou); akumuluje většinu vody (zde vznikají oblaky a srážky)

Charakteristika vrstev atmosféry

■ Tropopauza

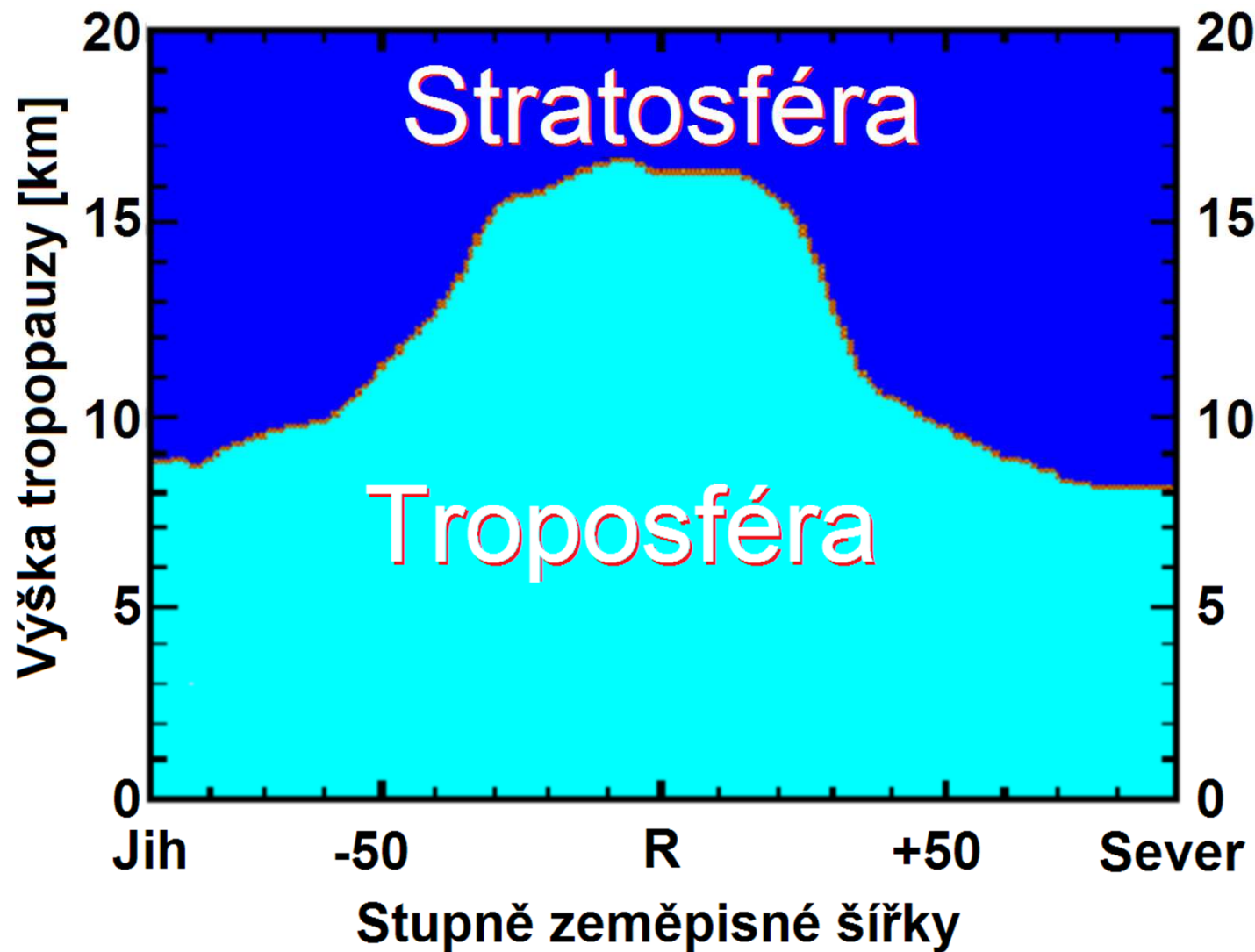
- Chladná tenká vrstva mezi troposférou a stratosférou
- Teplota cca -55 °C, výška cca 12 km
- Významná bariéra pro blokování vodní páry před stoupáním do vyšších vrstev
- V případě absence tropopauzy vystoupání vody do vrstvy s výšeenergetickým zářením, následná fotodisociace a únik vodíku do kosmu:



- V geologické historii nevratná ztráta vodíku a helia z atmosféry tímto mechanismem.

Charakteristika vrstev atmosféry

- Proměnný dosah troposféry v závislosti na zeměpisné šířce (R = rovník)



Charakteristika vrstev atmosféry

■ Stratosféra

- Vrstva nad tropopauzou vymezená oblastí, kdy teplota přestane klesat s výškou a oblastí, kdy teplota opět klesat začne;
- Teplota -55 až -4 °C, výška 12 – 50 km;
- Ozonoféra součástí stratosféry (15 – 35 km);
- Obsah ozonu v ozonoféře 10 ppm \Rightarrow absorpce UV záření za současného vyvíjení tepla (proto pozitivní teplotní gradient ve stratosféře).

■ Mezoféra

- Vrstva typická rychlým poklesem teploty s výškou;
- Důvodem je absence molekul absorbujících sluneční záření;
- Teplota -4 až -90 °C, výška 50 – 80 km.

Charakteristika vrstev atmosféry

■ Termosféra

- Vrstva nad mezosférou typická kladným gradientem teploty;
- Silná vrstva od 80 až do 700 km; teplota -90 až +1200 °C;
- Atmosféra v této oblasti již s velmi nízkou hustotou (tlak klesá od cca 7 kPa prakticky k vakuu);
- v horní části termosféry mezi 500 – 700 km teplota až 1200 °C vlivem absorpce záření s vlnovou délkou < 200 nm;
- Pozn. Vysoká teplota z důvodu minimální hustotě vzduchu měřitelná pouze na základě střední kinetické energie molekul plynů.

Charakteristika vrstev atmosféry

■ Exosféra

- Přejímová vrstva dosahující reziduálně až do vzdálenosti 10 000 km od zemského povrchu;
- Teplota se již málo mění;
- Atomy, molekuly a ionty uvolňovány nevratně do meziplanetárního prostoru;
- Velmi řídká část atmosféry tvořená převážně lehkými plyny H_2 a He;
- Pozn. Ubývání těžších plynů je postupné, tj, jejich koncentrace se ve vyšších atmosférických vrstvách mění s výškou \Rightarrow alternativní označení exosféry + termosféry od výšky cca 85 km je heterosféra.

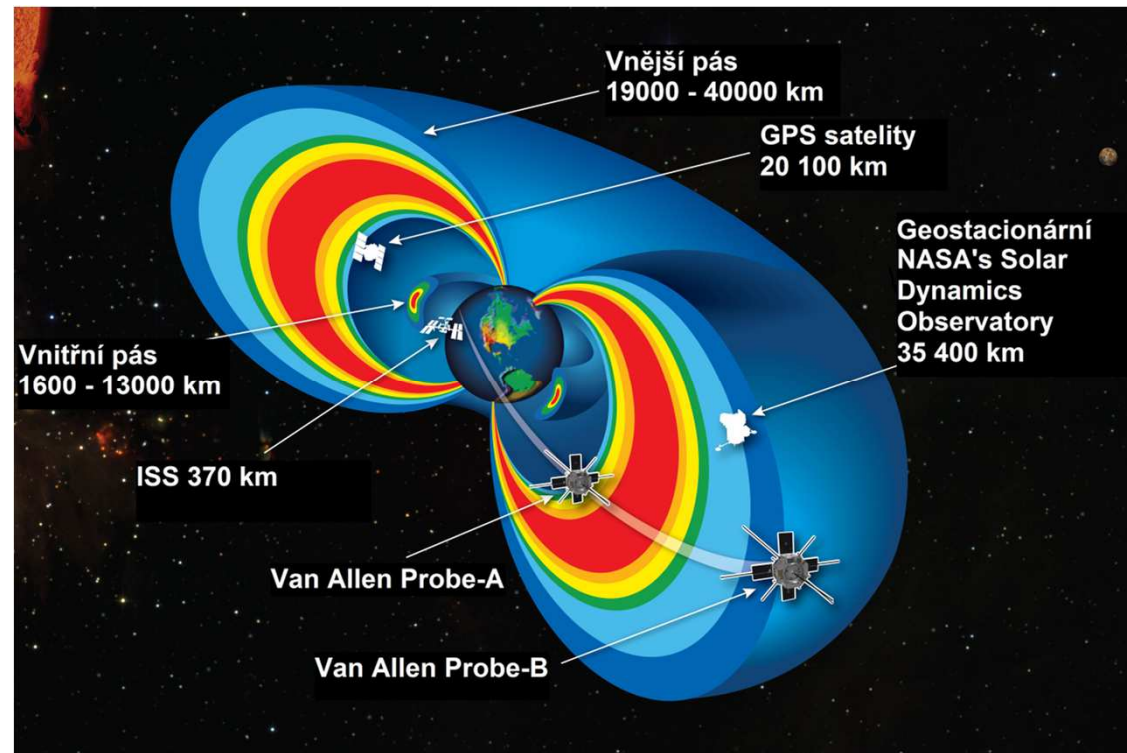
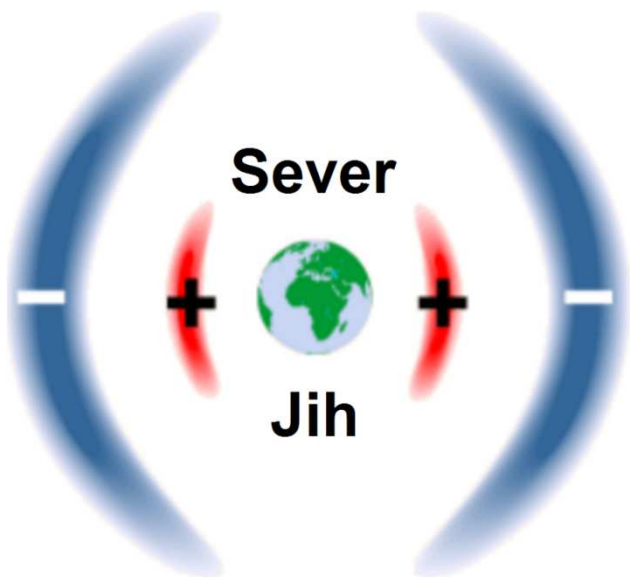
Charakteristika vrstev atmosféry

■ Ionosféra

- Vrstva objevená r. 1901 a definovaná nikoli kritériem nadmořské výšky, ale na základě elektrického kritéria členění;
- Výškově zasahuje celou mezoféru, celou termosféru a dolní část exosféry;
- Vznik iontů vyvolán působením elektromagnetického záření v oblasti UV;
- Na noční straně planety pomalá rekombinace vzniklých kationtů s volnými elektrony (rychlejší zánik iontů v nižších vrstvách, kde je vyšší koncentrace částic) ⇒ proto noční posun spodní hranice ionosféry do vyšších vrstev;
- Velký praktický význam ionosféry = odraz elektromagnetického vlnění od povrchu zpět k povrchu ⇒ přenos radiových vln.

Charakteristika vrstev atmosféry

- Vliv magnetického pole – záchyt nabitých částic tzv. slunečního větru
 - Van Allenovy pásy ionizovaných částic (objevené 1958)
 - Vnitřní kladný a vnější záporný, rozsah 400 - 50 000 km;
 - Pozor! vysokoenergetické p^+ a e^- v pásech nebezpečné pro posádky kosmických lodí



Atmosféra jako filtr záření

- Záření s vlnovou délkou > 330 nm (tj. část UV, viditelné a IR)
 - proniká na povrch
- Záření s vlnovou délkou $200 - 330$ nm (tj. část UV)
 - proniká 50 km nad povrch
- Záření s vlnovou délkou $100 - 200$ nm (tj. část UV)
 - proniká 200 km nad povrch
- Pozn. tzv. „kosmické záření“ jsou ve skutečnosti částice (99 % jádra prvků 1 % elektrony, z jader jsou 90 % izolované protony, 9 % alfa částice a 1 % těžší jádra) \Rightarrow interakce zejm. s elmag. polem.

