

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

Jan Bednář; Jaroslav Kopáček; Michal Žák

Vznik a složení zemské atmosféry – fyzika v širších souvislostech

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 95 (2020), No. 2, 42–52

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/148450>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2020

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## Vznik a složení zemské atmosféry – fyzika v širších souvislostech

*Jan Bednář, Jaroslav Kopáček, Michal Žák*  
*Katedra fyziky atmosféry MFF UK*

Na začátku letošního roku vyšlo v nakladatelství Karolinum aktualizované a podstatně rozšířené vydání knihy *Jak vzniká počasí* [1]. Čtenář se v knize může seznámit s ději v atmosféře, které nejvíce ovlivňují formování počasí. Dozví se mimo jiné o vzniku oblačné elektřiny, o elektrických výbojích v atmosféře, blescích, struktuře bouřkových oblaků, tornád a dalších souvisejících úkazech. Se svolením autorů a nakladatelství vám přinášíme ukázkou z této knihy. Text byl pro potřeby tohoto článku mírně upraven.

### **Vznik zemské atmosféry**

Atmosféra Země, na jejímž spodním okraji žijeme, je v tomto článku hlavním předmětem našeho zájmu. Děje, které v ní probíhají, podmiňují i to, čemu říkáme počasí. Kdyby byl fyzikální stav atmosféry v každém místě a ve všech časech stejný, slovo „počasí“ by se v našem jazyce nevykytovalo. Počasím rozumíme stav atmosféry charakterizovaný souhrnem hodnot všech meteorologických prvků a atmosférickými jevy v určitém místě a čase. Počasí se charakterizuje souborem okamžitých nebo krátkodobě průměrovaných hodnot, především teploty vzduchu, tlaku vzduchu, atmosférických srážek, dále oblačností, směrem a rychlostí větru apod. Pro počasí je charakteristická velká časová a prostorová proměnlivost.

Naproti tomu jako klima (podnebí) označujeme dlouhodobý („zprůměrovaný“, charakteristický) režim počasí typický pro určitou oblast nebo místo.

Přes všechnu moderní techniku je lidská činnost na počasí silně závislá a počasím, případně jeho průběhem, může být např. ovlivněn i náš zdravotní stav. Živé organismy, lidé i zvířata, dnes potřebují ke svému životu atmosféru ve složení, jaké právě má, odhlédneme-li pochopitelně od antropogenního znečištění. Rostliny by však v řadě ohledů prospívaly lépe, kdyby obsah  $\text{CO}_2$  byl vyšší. Musíme připustit, že kdyby zemská atmosféra prošla jiným vývojem, než tomu bylo ve skutečnosti, probíhal by pravděpodobně i vývoj života na Zemi jinak.

Dnes neznáme do všech podrobností dějiny naší zemské atmosféry od jejích nejranějších počátků. Geologie a paleobiologie však ukazují, že v poslední miliardě let došlo na Zemi k významným změnám klimatu, což zřejmě nezůstalo bez vlivu na vývoj života. Je stále předmětem zkoumání, zda a jak s těmito změnami klimatu souvisely i změny složení atmosféry. Stáří Země se odhaduje na zhruba 5 miliard let. Poněkud spolehlivější údaje o klimatu máme ale jen za poslední miliardu let. Můžeme se domnívat, že zemská atmosféra měla v době svého vzniku podstatně jiné složení než dnes. Rozhodující pochody, které podmínily dnešní složení zemské atmosféry, se pravděpodobně odehrály během prvních 4/5 doby vývoje Země, o kterých toho však prostřednictvím geologických a paleontologických nálezů víme relativně nejméně. Pro řešení naznačeného problému je nutné mít na zřeteli dvě důležité skutečnosti:

1. Výzkum stavby zemského tělesa ukázal, že jeho složky jsou usazeny podle své hustoty, tedy nejtěžší leží nejbliže zemskému středu. To je možné jen tehdy, když látky, které tvoří zemské těleso, byly kdysi tekuté nebo blízké stavu tekutosti, tzn. měly relativně vysokou teplotu.

2. Víme, že mnohé prvky schopné oxidace v průběhu vývoje Země neoxidovaly, i když teplota byla zřejmě vysoká, a jako neoxidované posléze zchladly. To bylo možné jen za předpokladu, že se v dané době nevyskytoval kyslík buď vůbec, nebo jen v nepatrné koncentraci. Odtud samozřejmě vzniká otázka, jak vznikl atmosférický kyslík, který je pro náš život tak důležitý a dnes tvoří přibližně jednu pětinu vzduchu v atmosféře. Ve srovnatelném množství nenalezneme kyslík u žádné další planety v naší sluneční soustavě.

Na problém vzniku Země se nabízely dva pohledy. Na základě prvního z nich měla naše Země s ostatními planetami vzniknout „horkou cestou“ z lůna praslunce, které existovalo již dříve. Praplanety potom kroužily kolem něj jako svítící nebeská tělesa. Během dlouhého období se ochlazovaly, na Zemi se vytvořila kůra a praoceány a nad nimi atmosféra. Dříve než teplota zemského povrchu dosáhla dostatečné nízkých hodnot, musela všechna voda na Zemi existovat ve formě vodní páry.

Ve 40. letech 20. století byla vypracována modernější teorie vzniku Země tzv. „studenou cestou“. Podle ní Země nevznikla z již existujícího Slunce, ale spolu s ním nahromaděním meteorických těles, prachových a plynných oblaků, tj. z původní studené hmoty. Gravitačním smršťováním se měnila potenciální energie na teplo, které spolu s teplem uvolňovaným při radioaktivních přeměnách ohřálo hmotu tvořící Zemi přinejmenším tak silně, že byla možná její sedimentace podle hustoty. Lehké plyny tvo-

řily praatmosféru. Na rychlosti smršťování závisela teplota Země. Kdyby smršťování trvalo příliš dlouho, zůstala by Země chladná, protože vyzařování tepla z jejího povrchu by kompenzovalo pomalou produkci tepla smršťováním.

V minulosti se vysvětloval vznik kyslíku v zemské atmosféře jen činností rostlin. Zelené rostliny odebírají totiž fotosyntézou z atmosféry oxid uhličitý a odevzdávají zpět kyslík. Pro nejstarší období existence zemské atmosféry je však toto vysvětlení vzniku kyslíku v zemské atmosféře zřejmě neuspokojivé.

Koncem 40. let bylo v USA prokázáno analýzou světla noční oblohy, že ve výškách nad 50 km, především v okolí 80 km, probíhá rozklad atmosférické vodní páry ultrafialovým zářením Slunce. Lehký vodík stoupá vzhůru a kyslík difunduje k zemi. Pod výškou 50 km tento proces nemůže probíhat, protože zde se dostáváme pod horní hranici ozonoféry a ozon plně absorbuje ultrafialové záření těch vlnových délek, které vodní páru rozkládá.

Představu o procesech tvoření kyslíku během vývoje zemské atmosféry je možné vyjádřit následovně: V době, kdy ještě žádný kyslík nebyl v atmosféře obsažen, mohlo ultrafialové záření Slunce vcelku nerušeně pronikat až na zemský povrch. V jeho blízkosti existovala vysoká koncentrace vodní páry, která pak byla snadno rozkládána. Rovněž kyslík vzniklý ve větších výškách klesal k zemskému povrchu. Část kyslíku  $O_2$  tvoří pod vlivem ultrafialového záření ozon  $O_3$ . Bezprostředně nad povrchem Země tedy vznikla vrstva ozonu. Proces rozkladu vodní páry ultrafialovým zářením však mohl pokračovat jen nad touto vrstvou. Popsaný děj potom probíhal v poněkud větší výšce. Horní hranice ozonu se tak v průběhu vývoje Země posunovala stále výše, a posunoval se tedy i sledovaný proces vzniku kyslíku. To, co bylo v současnosti zjištěno v oblasti výšek kolem 80 km, je pouze zbytek procesu, který kdysi probíhal u zemského povrchu a vedl ke vzniku prvotního atmosférického kyslíku.

Určité těžkosti této teorie vzniku kyslíku v zemské atmosféře nastanou při kvantitativních odhadech. Kdyby všechn kyslík obsažený v oxidech vznikl fotodisociací vodní páry (tedy rozkladem zmíněným ultrafialovým zářením), pak by muselo být rozloženo  $3,8 \cdot 10^4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  vody, tedy 38 kg vody nad každým čtverečním centimetrem zemského povrchu. Vzhledem k dnes zjištěné intenzitě rozkladu  $H_2O$  mohlo být disociováno (rozloženo) během 4,5 miliardy let jen asi  $20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  vody. Z těchto číselných hodnot je jasné, že právě zmíněný děj nemohl být jediným zdrojem kyslíku v zemské atmosféře. Asimilace zelených rostlin (jejich výživa včetně foto-

syntézy) a činnost chemicky redukujících bakterií, popř. další děje musely tedy hrát přinejmenším v určitém časovém období svou nezastupitelnou, i když ne dominující roli.

Kdyby ve formující se Zemi nevznikla tak vysoká teplota, aby připouštěla v zemském jádru proces jaderných přeměn, musel by pramateriál Země obsahovat všechny prvky, které dnes nalézáme v pevném zemském tělese, ve vodě oceánů a v atmosféře. Chemické sloučeniny se však měnily. Vodíku bylo v pramateriálu dostatek, a proto dnes připouštíme, že sloučeniny vodíku, nejčastěji s kyslíkem, uhlíkem a dusíkem (vodní pára  $\text{H}_2\text{O}$ , metan  $\text{CH}_4$ , čpavek  $\text{NH}_3$  atd.) dominovaly ve stavbě atmosféry. Tyto sloučeniny se fotochemickým působením ultrafialového slunečního záření během času přeměnily na  $\text{CO}_2$  a na čistý  $\text{N}_2$ . Oxid uhličitý je chemicky z největší části spojen s tvorbou hornin. Nelze zanedbat ani pozdější činnost rostlin, které ke své stavbě potřebují uhlík obsažený v  $\text{CO}_2$ .

Velké planety, Jupiter, Saturn, Uran a Neptun, v jejichž atmosféře byl spektrální analýzou nalezen plynný čpavek a metan, jsou příliš vzdáleny od Slunce na to, aby zde nastala fotochemická přeměna těchto plynů. Atmosféry těchto planet zůstaly v raném stadiu vývoje. Na Venuši, která je Slunci blíže, mohla naproti tomu proběhnout přeměna čpavku a metanu rychleji než na Zemi.

Shora krátce naznačené pravděpodobné dějiny zemské atmosféry skrývají samozřejmě ještě mnoho otevřených otázek. Např. netečný plyn neon, který má dost velkou hustotu na to, aby neunikal od Země, existuje v atmosféře jen ve stopách, ačkoli jeho množství v kosmu je větší. To by mohlo svědčit o tom, že v nejranějším stadiu byla atmosféra Země tak horká, že se neon odpařil do kosmického prostoru. Pak by byl dnes existující neon zbytkem, který procesy odpařování přežival, přičemž po zchlazení Země se musela vytvořit nová atmosféra.

Nové znalosti o těchto dosud nedořešených otázkách by mohly přinést další poznatky získané kosmickými sondami při výzkumech chemického složení atmosfér planet naší sluneční soustavy a rovněž výzkum v oblasti problematiky tzv. exoplanet. Podrobnější poučení o vývoji atmosféry Země může čtenář nalézt např. v knize [2]. Novější poznatky mají stále daleko do definitivní podoby, berou např. v úvahu i procesy související s dopady meteoritů a dalších kosmických těles na Zemi, roli období silné vulkanické činnosti apod. Skutečnost, že v historii vývoje Země byl obsah oxidu uhličitého v její atmosféře většinou výrazně větší, než je tomu dnes, se považuje za významnou mj. z hlediska vývoje biosféry a klima-

tických změn. Jako souhrnnou literaturu lze čtenáři doporučit příslušnou kapitolu ve druhém díle knihy *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* [3].

### Dnešní složení atmosféry Země

Uvedli jsme již, že složení toho, čemu říkáme vzduch, nebylo v průběhu geologických dob stálé a že současné složení zemské atmosféry je výsledkem četných pochodů, které dnes do všech podrobností ani neznáme. Definujme suchý a čistý vzduch jako směs plynů, jejichž zastoupení vyjádřené v objemových procentech uvádíme v tab. 1 [2, 4]

Tabulka 1: Složení vzdušné směsi (zastoupení jednotlivých složek v objemových procentech) odpovídající suché a čisté atmosféře

PLYN	CHEMICKÁ ZNAČKA	% OBJEMU	MOLÁRNÍ HMOTNOST $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Dusík	$\text{N}_2$	78,084	28,0134
Kyslík	$\text{O}_2$	20,9476	31,9988
Argon	Ar	0,934	39,948
Oxid uhličitý	$\text{CO}_2$	0,0314	44,00995
Neon	Ne	0,001818	20,183
Helium	He	0,000524	4,0026
Metan	$\text{CH}_4$	0,0002	16,04303
Krypton	Kr	0,000114	83,80
Vodík	$\text{H}_2$	0,00005	2,01594
Oxid dusný	$\text{N}_2\text{O}$	0,00005	44,0128
Xenon	Xe	0,0000087	131,30
Oxid siřičitý	$\text{SO}_2$	0 až 0,0001	64,0628
Ozon	$\text{O}_3$	0 až 0,00007	47,9982
Oxid dusičitý	$\text{NO}_2$	stopy	46,0055
Čpavek	$\text{NH}_3$	stopy	17,03061

V minulosti budila intenzivní zájem otázka, jak se mění chemické složení vzduchu se vzrůstající výškou nad zemským povrchem. Kdyby totiž působily jen tíhová a vztlaková síla, musely by být plyny uspořádány podle molární hmotnosti, tzn. nejtěžší plyn (s největší hustotou) dole,

zatímco nejlhčí vodík v největších výškách atmosféry. Avšak turbulence spojená se všeobecným pohybem vzduchu, vertikální pohyby velkého i malého měřítka a další efekty způsobují vertikální promíchávání vzduchu. Máme-li na mysli suchou a čistou atmosféru, ukázala měření na nejvyšších horách, že neexistují žádné podstatnější změny v chemickém složení vzduchu ve srovnání se vzduchem v nížinných oblastech. Také vzorky vzduchu odebrané při balonových výstupech nevykázaly žádné změny s výškou. V pozdější době byly prováděny experimenty pomocí raket, které ukázaly, že ani ve stratosféře (výšky přibližně 11 až 50 km), ani ve větší části mezoféry (výšky přibližně 50 až 80 km) se nevyskytují žádné podstatné odlišnosti v chemickém složení atmosféry. Určitou výjimku z právě uvedeného však v reálné atmosféře představuje ozon, oxid uhličitý a vodní pára.

V horních partiích mezoféry, nalézající se ve výškách přibližně mezi 50 až 80 km, začíná působit proces, který má podstatný význam pro složení vyšších vrstev atmosféry. Působením krátkovlnného slunečního záření dochází k disociaci molekul i ionizaci molekul a atomů. Zmíněný proces způsobuje v horních vrstvách mezoféry rozklad molekul  $O_2$  na atomární kyslík. V ionosféře, tj. ve výškách přibližně nad 60 km, je disociován také  $N_2$ . S přibývajícím výškou jsou součásti vzduchu stále častěji ionizovány. V horních vrstvách ionosféry potom začínají převládat plyny s menší hustotou a jejich ionty. Belgický geofyzik Marcel Nicolet dospěl k závěru, že ve výškách nad 600 km musí nastoupit vrstva helia. Dospěl k tomu v 60. letech 20. století prostřednictvím pozorování zpomalování pohybu balonového satelitu ECHO. Existence těžších plynů, jako je dusík a kyslík, by dávaly větší pokles hustoty vzduchu s výškou, vodík pak menší. Nad vrstvou helia se potom zemská atmosféra skládá z ionizovaných atomů vodíku a plynule přechází v meziplanetární prostor.

### Ozon a oxid uhličitý

Při sledování chemického složení atmosféry se setkáváme s plyny, které jsou v ní ve srovnání např. s dusíkem a kyslíkem obsaženy jen menšinově. Mohli bychom tedy předpokládat, že vzhledem ke své relativně malé koncentraci nemají na vlastnosti atmosférického vzduchu podstatný vliv. Takový předpoklad by však byl zcela chybný, neboť i tyto plyny dalekosáhle ovlivňují pochody v atmosféře a do značné míry určují její chování. Především je to proto, že některé z nich mají schopnost pohlcovat a emitovat (vysílat) záření. Pro děje v zemské atmosféře mají v tomto směru význam především ozon a oxid uhličitý. Neznamená to ovšem, že to jsou

jediné plyny, jejichž vlastnosti je nutné studovat. Existuje celá řada dalších, o nichž pojednává obor atmosférické chemie. Na tomto místě se však stručně zmíníme jen o právě uvedených nejvýznamnějších dvou plynech.



## OZON

Ozon představuje formu molekuly kyslíku, která je složena ze tří kyslíkových atomů. Kondenzuje při teplotě  $-111,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  v tmavomodrou kapalinu a při  $-192,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  krystalizuje na tmavě fialové krystalky. Ozon je chemicky poměrně nestabilní. V čistém prostředí (vzduchu) a při malých koncentracích se rozkládá poměrně pomalu, ale při teplotách kolem  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  nebo za přítomnosti oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ ), chloru nebo oxidů těžkých kovů se rychle rozkládá na molekulární ( $\text{O}_2$ ) a excitovaný atomární (O) kyslík. Největší množství atmosférického ozonu se nachází ve stratosféře, ve výškách 20 až 50 km nad úrovní moře. Pro oblast těchto výšek se v odborné literatuře obvykle používá název ozonosféra. V na-



ších mírných zeměpisných šířkách se atmosférické hladiny nejbohatší na ozon nalézají ve výškách přibližně 22 až 25 km, nad rovníkem je to však až ve výškách přes 30 km.

Význam stratosférického ozonu spočívá především v jeho schopnosti pohlcovat ultrafialové sluneční záření, což je elektromagnetické vlnění o vlnových délkách do 400 nm a schematicky se rozděluje do tří pásů: UV-C (vlnové délky menší než 280 nm), UV-B (280 až 320 nm) a UV-A (320 až 400 nm). V pásu UV-C je ultrafialové záření prakticky úplně absorbováno již ve vyšších hladinách atmosféry před vstupem shora do ozonosféry, a to fotochemickými reakcemi a excitacemi atomů a molekul zde přítomných řídkých plynů. Pokud jde o absorpci ozonem ve vrstvách ozonosféry, je velmi významná v oblasti pásu UV-B, kde dosahuje v globálním pohledu účinnosti přibližně 77 %. V pásu UV-A je absorpční účinnost již slabší a orientačně dosahuje asi 28 %. Kromě toho ozon ještě slaběji pohlcuje elektromagnetické záření viditelné části spektra (tj. světlo) a několik významnějších absorpčních čar můžeme nalézt i v infračervené části spektra. Silná absorpční schopnost ozonu v pásu UV-B se zejména týká tzv. „biologicky aktivního“ záření, které narušuje některé biologicky zásadně důležité látky (bílkoviny, nukleové kyseliny apod.). Z tohoto hlediska plní tedy ozon funkci filtru, bez jehož existence by současné formy života byly bezpochyby narušeny nebo dokonce zničeny. Kromě toho absorpce záření vede k ohřívání těch vrstev atmosféry, které obsahují ozon, a v podstatě vytváří lokální maximum ve vertikálním průběhu teploty vzduchu v oblasti horní části stratosféry.

Ozon vzniká ve stratosféře pod vlivem ultrafialového záření Slunce z molekulárního kyslíku prostřednictvím následujících reakcí:

- a)  $O_2 + h\nu \rightarrow O + O$ ,
- b)  $O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M$ ,

zatímco jeho rozklad probíhá podle schématu

- c)  $O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$ ,
- d)  $O_3 + O \rightarrow 2O_2$ ,

V uvedených vztazích je  $h\nu$  (čteme: „há ný“) symbol pro energetické kvantum pohlcovaného záření, M označuje katalyzátor představovaný molekulami nebo částicemi podílejícími se na výměně energie. Intenzita těchto reakcí je úměrná koncentraci výchozích molekul. K rekombinační reakci d) dochází významnou měrou ve výškách nad 60 km, kde se významná část kyslíku nalézá v disociovaném stavu. V menších výškách ozonosféry je více molekulárního kyslíku a převažuje reakce b), která je hlavním zdrojem ozonu ve stratosféře.

Položíme-li si otázku, proč se ozonoféra nalézá právě ve svém současném výškovém rozmezí, může být odpověď ve svém principu jednoduchá. K existenci ozonoféry jsou prakticky nutné dvě podmínky: musí do ní v dostatečné míře pronikat sluneční záření krátkých vlnových délek potřebné pro fotolýzu (rozklad slunečním zářením) molekul kyslíku  $O_2$  a zároveň se zde tyto molekuly musí vyskytovat v dostatečné koncentraci. Poněkud zjednodušeně řečeno, první podmínka omezuje ozonoféru zdola, druhá shora. Kromě toho je třeba uvážit, že molekuly ozonu  $O_3$  jsou málo stabilní, a mají tedy relativně krátkou střední dobu života. Ozon formující se v ozonoféře má z tohoto důvodu nedostatek času na to, aby se atmosférickou difuzí rozprostřel v podstatně širším vertikálním rozsahu a homogenněji se promísil s ostatními atmosférickými plyny.

Přibližně od 60. let 20. století se vyskytují závažné obavy z narušení ozonoféry v souvislosti s některými složkami antropogenního znečištění ovzduší. V 60. a 70. letech převažovaly obavy z emisí oxidů dusíku pocházejících z masové letecké dopravy, která by byla provozována ve spodní stratosféře. Tehdy předpokládaný brzký intenzivní rozvoj takto orientované mezikontinentální nadzvukové letecké dopravy se však z řady technických a ekonomických důvodů neuskutečnil. V následujícím období, což se týká i současnosti, se věnuje hlavní pozornost rozsáhlé skupině látek, kterou lze obecně charakterizovat jako halogenizované uhlovodíky (freony, halony apod.). Problematika ochrany ozonoféry je již po několik desítek let předmětem intenzivní mezinárodní spolupráce a je přímo kodifikována mezinárodními konvencemi sjednanými pod patronací OSN.

## OXID UHLIČITÝ

Oxid uhličitý ( $CO_2$ ) patří k „menšinovým“ atmosférickým plynům, které jsou významné v mnoha směrech. Především je nezbytné uvážit jeho úlohu v biologických procesech. Tento plyn je životně důležitý pro zelené rostliny. Vlivem slunečního světla se v chlorofylu listové zeleně uskutečňuje proces výjimečné důležitosti:  $CO_2$  se rozkládá na uhlík, který je využit k výstavbě rostlinných tkání, a kyslík, jenž je odevdáván do vzduchu. Pokusy ve sklenicích dokázaly, že rostliny lépe a rychleji rostou, obohatíme-li vzduch o  $CO_2$ . Značně bujný růst můžeme dokumentovat v karbonu (mladší prvohory), kdy obsah  $CO_2$  v atmosférickém vzduchu byl podstatně vyšší než dnes, a to pravděpodobně vlivem silné sopečné činnosti.

V hnědouhelných a kamenouhelných ložiscích, popř. v ložiscích fosilních paliv obecně, je jako konečný produkt dlouhodobých a složitých

pochodů uložen uhlík, který byl původně jako  $\text{CO}_2$  obsažen v atmosféře. V dnešní době se při antropogenně podmíněném spalování uhelných zásob a ostatních fosilních paliv vrací  $\text{CO}_2$  do atmosféry zvýšenou měrou ve srovnání s přírodními ději.

Vzhledem ke kolísání množství oxidu uhličitého však atmosféra hraje spíše jen pasivní úlohu jako jeho zásobník. Hlavním zásobníkem je oceán, ve kterém je  $\text{CO}_2$  rozpuštěn jako kyselina uhličitá ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) v množství několikrát větším, než je obsah  $\text{CO}_2$  v atmosféře. Mezi oxidem uhličitým vyskytujícím se ve vzduchu a v oceánu však probíhá intenzivní výměna. Rovnováha mezi oběma zásobníky pak závisí především na teplotě vody v oceánu, na biologických dějích v mořích i na povrchu pevniny.

Velký význam atmosférického  $\text{CO}_2$  spočívá ve skutečnosti, že tento plyn je dobře propustný pro sluneční krátkovlnné záření, zatímco zadržuje část dlouhovlnného tepelného záření vyzařovaného Zemí. Atmosférický  $\text{CO}_2$  tedy způsobuje úměrně své koncentraci spolu s vodní párou tzv. skleníkový efekt atmosféry. Existuje ale ještě celá řada dalších plynů s podobným efektem. Kdyby všechen  $\text{CO}_2$  z atmosféry vymizel, klesla by poněkud průměrná teplota spodních vrstev atmosféry a zemského povrchu, v případě růstu jeho koncentrace je tomu naopak. V současné době se řeší mj. otázka možných změn klimatu Země v geologických dobách vlivem kolísání obsahu  $\text{CO}_2$ . Největší pozornost však vzbuzují problémy spojené se současným antropogenním růstem množství  $\text{CO}_2$  v atmosféře a s jeho dopady na budoucí možné změny klimatu Země. V současné době jsou průměrné koncentrace  $\text{CO}_2$  v zemské atmosféře vyhodnocovány na úrovni přibližně 410 ppm (parts per million, tj. částic v milionu částic), což ve srovnání s tzv. předindustriálním obdobím lidské civilizace představuje takřka padesátiprocentní nárůst. Systematická sledování obsahu  $\text{CO}_2$  pak potvrzují po celé industriální období (zhruba od r. 1750) kontinuální růst, který se v posledních desetiletích výrazně zrychluje.

Z hlediska vertikálního rozložení není oxid uhličitý rozprostřen rovnoměrně, ale jeho koncentrace s výškou klesá dosti výrazně, a to i ve spodních, jinak vcelku homogenně promíchávaných vrstvách atmosféry. Příčinou je zčásti to, že jde o relativně těžký plyn, ale zejména jde o důsledek skutečnosti, že je v atmosféře účinně vymýván z kondenzovanou vodou (oblaky, srážky), což omezuje možnosti jeho přirozené vertikální difuze. Jeho obsah ve srážkové vodě pak i ve zcela přirozených přírodních podmínkách působí určitou kyselost srážkové vody s pH blízkým 5,6. Lze tedy říci, že ve srážkách přší slabá kyselina uhličitá, což má v přírodě

řadu důsledků, např. v podobě vzniku krasových jevů ve vápencových oblastech.

Literatura

- [1] Kopáček, J., Bednář, J., Žák, M.: *Jak vzniká počasí*. Karolinum, Praha, 2020.
- [2] Faust, H.: *Der Aufbau der Erdatmosphäre*. Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1968.
- [3] Holton, J. R., Curry, J. A., Pyle, J. A.: *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*. Academic Press, Amsterdam, 2003.
- [4] Hartmann, D. L.: *Global Physical Climatology*. Academic Press, New York, 1994.

## Elektronická Sbírka řešených úloh z fyziky

*Zdeňka Koupilová, Dana Mandíková, Marie Snětinová*

*Plánujete se o prázdninách procvičit ve fyzice? Chcete si udělat náskok do školy? Doučujete? Řešíte rádi úlohy? Elektronická Sbírka řešených úloh z fyziky by pro vás mohla být to pravé!*

**Sbírka řešených úloh**

Fyzika
Fyzika
Matematika

Termodynamika a mol. fyzika
Mechanika
Teoretická mechanika
Termodynamika a mol. fyzika
Elektrika a magnetismus
Optika
Fyzika mikrosvěta
Matematické metody
Úlohy PISA

**O sbírce**

Zobrazit úlohu

Kód:  >

**Úlohy** Filtr aktivní >>

- Základní poznatky (14)
- Změna vnitřní energie, práce a teplo (28)
- Ideální plyn (19)
- Reálný plyn (0)
- Tepelné děje v plynech (17)
- Pevné látky a kapaliny (45)
  - o Struktura krystalických látek a metody jejich určování (0)
  - o Deformace pevných látek (11)
  - o **Teplotní roztažnost pevných látek a kapalin (19)**
    - Měření závodní dráhy pásmem (SS)
    - Zvětšení průměru válečku při zahřívání (SS)
    - Bimetal (SS+)

**Rtut' ve zkumavce** Úloha číslo: 328

Skleněná trubice má koeficient objemové roztažnosti  $28,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , na jednom konci je zatavena, má všude stejný průřez a při teplotě  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$  má délku 100 cm. Do této skleněné trubice nalijeme při téže teplotě rtuť s koeficientem objemové roztažnosti  $18 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  tak vysoko, že rtuť nevyplněný prostor zachovává při změnách teploty stálý objem.

Jak vysoko byla rtuť nalita?

http://reseneulohy.cz/

**Nápvěda**

**Rozbor**

Jak Sbírka vypadá