

MASARYKOVA UNIVERZITA

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra fyziky

**Obrazy fyzikálních jevů v problematice
klimatu pro školní vzdělávání**

Diplomová práce

Brno 2008

Autor: Miloš Černý

Vedoucí práce: RNDr. Jindřiška Svobodová, Ph.D.

Bibliografický záznam

ČERNÝ, Miloš. Obrazy fyzikálních jevů v problematice změn klimatu pro školní vzdělávání: diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita, Fakulta pedagogická, Katedra fyziky, 2008, 71 listů. Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jindřiška Svobodová, Ph.D.

Anotace

Diplomová práce „Obrazy fyzikálních jevů v problematice změn klimatu pro školní vzdělávání“ pojednává o shrnutí základních fyzikálních a klimatických procesů, vycházející z pojmů a učiva z učebnic ze základních škol a místy středoškolských učebnic.

Annotation

The graduation theses “Physics Support of Climate for Teaching Science” discuss about specification physical and climate process, coming out of ideas and subject matter primary school and second school.

Klíčová slova

Slunce, sluneční záření, globální oteplování, změna klimatu, atmosféra, energie, hvězdy, Země, světlo, záření, skleníkový jev, sluneční paprsky, spektrum, absolutně černé těleso

Keywords

Sun, solar radiation, global warming, climate change, atmosphere, energy, stars, Earth, light, radiation, greenhouse effect, sunrays, spectra, ideal black body

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a použil jen prameny uvedené v seznamu literatury.

Souhlasím, aby práce byla uložena na Masarykově univerzitě v Brně v knihovně Pedagogické fakulty a zpřístupněna ke studijním účelům.

.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval své vedoucí diplomové práce RNDr. Jindřišce Svobodové, Ph.D. za odborné rady, připomínky a korekturu.

M.Č.

Obsah

Úvod.....	7
1.Zakladní astrofyzikální údaje	8
2. Bilance jiných zdrojů záření.....	9
3. Vlastnosti a rozdělení světla.....	11
4. Zákony vyzařování.....	14
5. Černé těleso.....	17
6. Sluneční paprsky.....	21
7. Cestou k povrchu Země.....	25
8. Odraz slunečních paprsků od povrchu Země.....	32
9. Skleníkový jev.....	35
10. Bilance záření.....	38
Závěr.....	45
Literatura.....	46
Seznam obrázků.....	47
Přílohy (pracovní listy).....	49
Resumé.....	68
Animace na CD.....	69

Úvod

Snaha odvrátit negativní důsledky klimatických změn vyžaduje zapojení co největšího počtu obyvatel planety. Důsledky globálního oteplování postihnou především nastupující generace. Z tohoto důvodu je třeba zvýšit úsilí o šíření objektivních informací a faktických znalostí o četných aspektech této problematiky již v rámci školního vzdělávání.

Cílem práce je shrnutí základních fyzikálních a klimatických procesů na úrovni přiměřené laickému chápání, vycházející z pojmů a učiva základoškolských, místy středoškolských učebnic.

Dále doprovázím text řadou vlastních vyobrazení, schémat, grafů.

V práci se nezabývám rozbořem pojmu globální oteplování, který zjednodušeně odkazuje na prokazatelné zvýšení teplot zemského povrchu ve vymezeném časovém období. Pouze shrnuji vypravěčským způsobem fyzikální východiska pro pedagogické pochopení problematiky.

Jako hlavní inspirací pro text práce byla kniha [1. Šifrinová, J. M.: Slunce zdroj přírodní energie, NV Praha 1955], která vyšla v 50. letech, ale její jazyk je natolik srozumitelný a text věcně správný, že jsem se rozhodl svou práci strukturovat podobně. A udržet podobně srozumitelný styl.

V práci příkládám 4 pracovní listy pro základní školu. Které jsou využitelné ve výuce fyziky, zeměpisu a předmětech s environmentální tematikou.

1. Základní astrofyzikální údaje

Slunce vyzařuje ze vzdálenosti 150 000 000 kilometrů každou minutu na čtverečný centimetr plochy, postavené kolmo ke slunečním paprskům, takové množství energie, která stačí ohřát 1 mililitr vody o téměř 2°C, tj. přibližně 8,37 J.

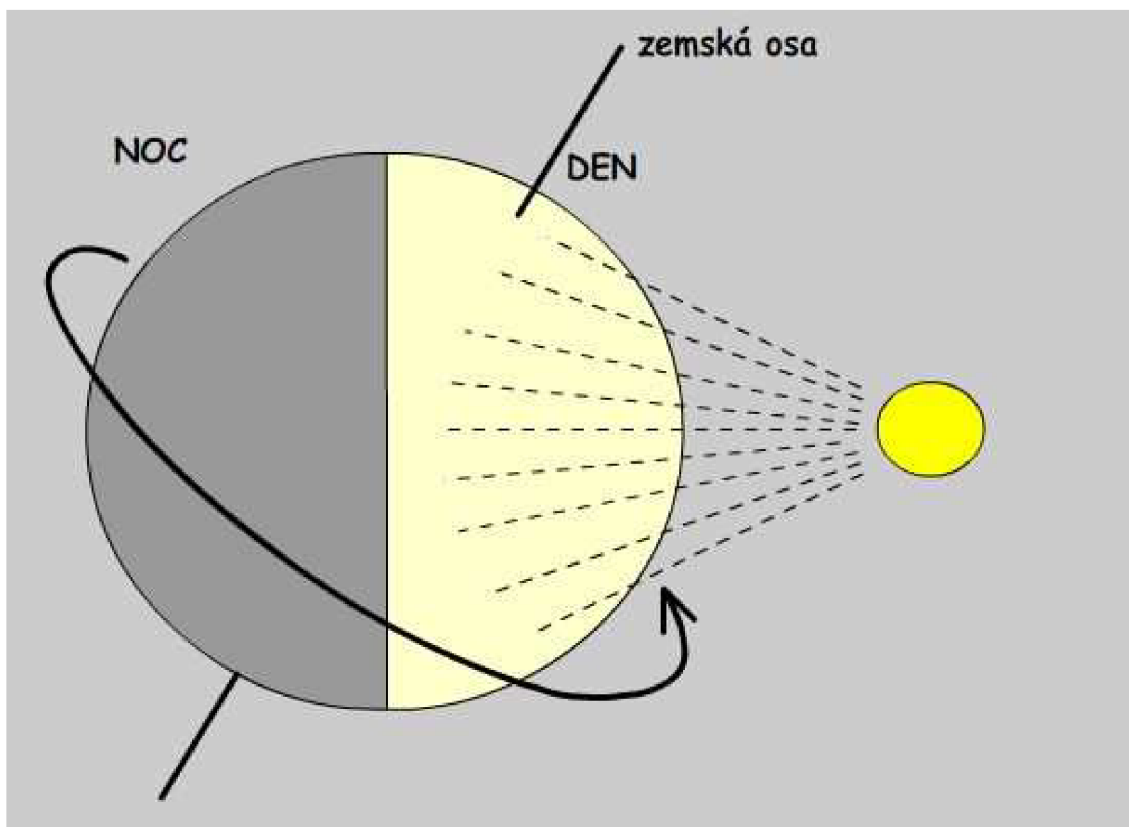
Slunce z hlediska běžného člověka svítí klidně a jeho zářivý výkon se příliš nemění, proto byla kdysi dávno zavedena tzv. sluneční (solární) konstanta. Tento název dnes užíváme jen pro orientační úvahy. Solární „konstanta“ udává, kolik sluneční energie dopadá na vrchní vrstvu atmosféry metrem čtverečným za sekundu.

Bližší pohled na neměnnost zářivého výkonu Slunce ukázal, že zářivý výkon Slunce se mírně mění s hlavním (jedenáctiletým) cyklem sluneční aktivity. Výkyvy se odehrávají v řádu desetin procenta. V době, kdy lze ve fotosféře pozorovat velké množství skvrn je hodnota sluneční konstanty 1367 W/m², zatímco v době slunečního minima něco kolem 1365 W/m². Za několik století se sluneční konstanta měnila o 0,2 až 0,6 %, tedy v rámci těchto mezí lze tento interval hodnot považovat za stálý. Pro sluneční „konstantu“ se dnes zavádí výstižnější název *sluneční iradiance*.

Hodnoty iradiance v minimech cyklu se pohybují kolem hodnoty 1364,7 Wm⁻², v maximu jsou více rozptýlené a pohybují se kolem 1366 Wm⁻² (J. Geophys. Res. 100 /A2/, 1667, 1995). Sluneční iradiance je důležitým přirozeným faktorem v utváření a kolísání zemského klimatu. Na povrchu Země nabývá tato sluneční konstanta hodnoty 1340 Wm⁻².

Vzhledem k tomu, že Země není plochý kotouč, nýbrž koule, nemůže být celý její povrch současně kolmý ke směru slunečních paprsků.

Slunce v každém okamžiku osvětluje vždy jen polovinu zeměkoule; na druhé polovině je v tuto dobu noc (obr. 1). Proto na jeden čtverečný centimetr zemského povrchu dopadá průměrně množství energie, které se rovná pouze ¼ sluneční konstanty, tj. 2,09 Jmin⁻¹, tj. 348 Wm⁻² (v průměru přes obě polokoule a den i noc asi 168 Wm⁻²).



Obr. 1 osvětlení Země Sluncem

Násobíme-li sluneční konstantu velikostí povrchu koule o poloměru 150 milionů kilometrů (vzdálenost Země – Slunce) dostaneme přibližnou celkovou hodnotu zářivého výkonu Slunce $2,25 \cdot 10^{28} \text{ Jmin}^{-1}$ (zářivý výkon Slunce je $3,83 \cdot 10^{26} \text{ W}$).

Je velmi nesnadné představit si takovou hodnotu. Kdyby všechny energie, které Slunce vysílá, dopadly na Zemi, pak by voda v mořích a oceánech dosáhla za 1,5 s bodu varu. Ve skutečnosti dostává Země pouze $1 / 2\,200\,000\,000$ sluneční energie. Ale i tato mizivá část představuje obrovskou energii.

2. Bilance jiných zdrojů záření

Sluneční paprsky jsou sice zcela dominantním, ale ne jediným vnějším zdrojem záření na Zemi. Přichází k nám také záření hvězd, kosmické paprsky i světlo odražené od Měsíce a planet. Všechny tyto jiné zdroje z vesmíru s sebou nesou nepatrné množství energie. Například jedna z nejjasnějších hvězd naší oblohy, Vega ze souhvězdí Lyry, dodává nám tolik tepla, kolik bychom dostali od obyčejné svíčky, svítící ve vzdálenosti 18 kilometrů. Všechny hvězdy dohromady posílají na Zemi jednu stomiliontinu energie,

kteřou dostáváme od Slunce. Měsíc za úplňku nám posílá za minutu $7,87 \cdot 10^{-5} \text{ Jcm}^{-2}$, tj. stotisíckrát méně než Slunce.

Kosmické paprsky, které k nám přicházejí z vesmíru, tvoří proud částic, které bez přestání dopadají na Zemi. Jsou mezi nimi jednotlivé částice s obrovskou energií. Počet kosmických částic je tak malý, že jejich energie, připadající na několik set čtverečních kilometrů, nestačí ani k tomu, aby uvedla do pohybu malý motor.

Kromě vnějších zdrojů existují energetické vnitřní zdroje tepla Země. Sopky a horké vývěry svědčí o vyšší teplotě v hloubce. Přiblížíme-li se o 100 metrů ke středu Země, zvýší se teplota průměrně o tři stupně Celsia. Kdyby teplota stoupala úměrně s hloubkou, musela by teplota dosáhnout ve středu Země $190\,000^\circ\text{C}$. Avšak věda říká něco jiného. Z pozorování, která zkoumají šíření vln, vznikajících při zemětřesení (tzv. vln seizmických), lze soudit o stavu a složení hmoty ve velkých hloubkách Země. Údaje o rychlosti seizmických vln vedou k závěru, že teplota ústředního zemského jádra nepřesahuje 5000°C . Tato teplota je dosti vysoká, takže musí existovat nějaké zdroje energie, které ji udržují. Za dobu trvání Země by jádro vychladlo na mnohem nižší teplotu.

Zdrojem tohoto stálého vnitřního vyhřívání jsou radioaktivní přeměny jader zejména uran, thorium a lehký kov draslík. Jejich atomy jsou nestálé, bez jakýchkoliv vnějších příčin se postupně mění v atomy jiných látek. Podle výpočtů V. Chlopina dodává uran Zemi 51 % všeho niterného tepla, thorium 47 % a draslík 2 %. V zemi je sice 4000 krát více draslíku než uranu, ale draslík uvolňuje 25,5 krát méně tepla. Izotop ^{40}K má poločas rozpadu řádově 10^9 let. Izotop ^{238}U je vstupem do tzv. uran-radiové rozpadové řady, jeho zastoupení v přírodním materiálu je 99,3 %, poločas rozpadu řádově 10^9 let. Izotop ^{235}U má mnohem nižší zastoupení asi 0,7 % a poločas 10^8 let. Kolem 75 % radionuklidů je obsaženo v zemské kůře, vnitřní části Země, plášť a jádro obsahují zbytek. Přestože tepelný výkon těchto radioaktivních „kamen“ není příliš velký asi $3 \cdot 10^{-6} \text{ Wm}^{-2}$, díky relativně malým rozměrům povrchu, jímž Země chladne, vůči objemu zeměkoule, stačí se jádro vyhřát na vysokou teplotu.

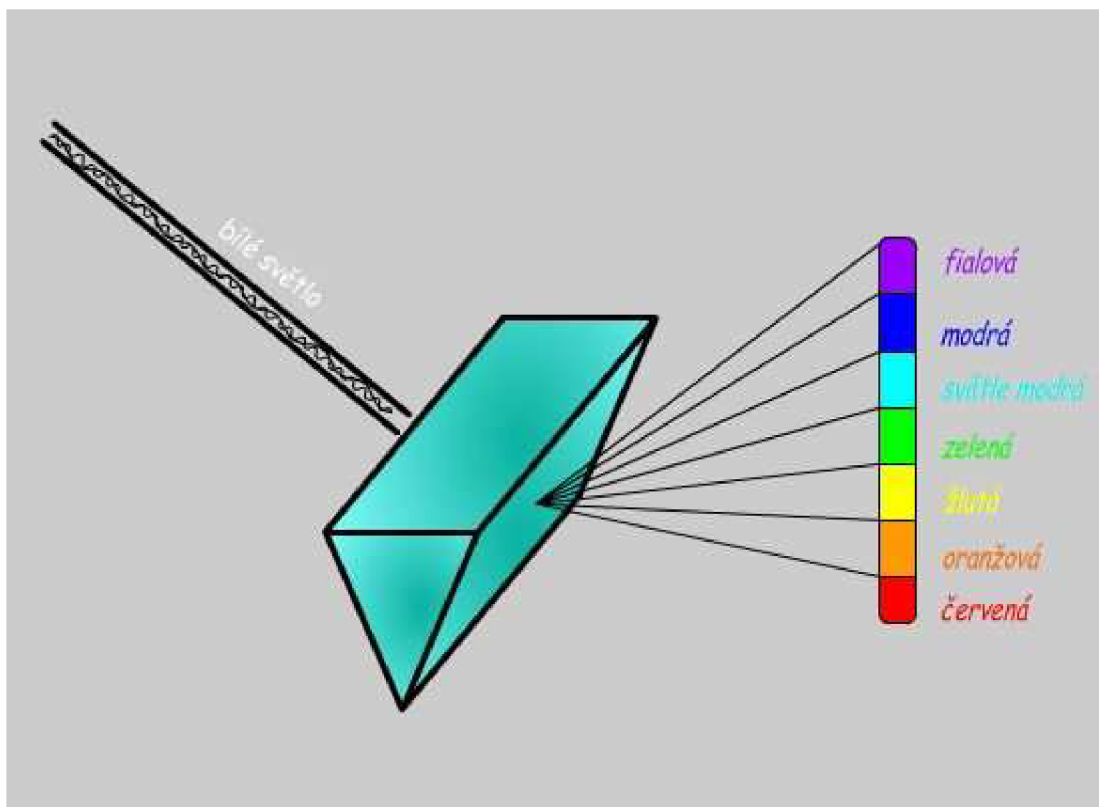
Bezprostřední měření ukázala, že povrch Země dostává zevnitř každou minutu 439 miliontin joulu na čtverečný centimetr $0,05 \text{ Wm}^{-2}$, lze odhadnout, že celým povrchem Země uniká výkon $2,5 \cdot 10^{13} \text{ W}$. Teplo vzniklé radioaktivním rozpadem tavi v zemských hlubinách minerály, vyvolává zemětřesení a sopečnou činnost. Kromě prudkých geologických změn probíhají stálé, avšak neznatelné pohyby zemské kůry. Na některých místech zemská kůra pomalu klesá, na jiných se lehce zvedá.

Od Slunce přichází 2000krát více energie než ze zemského nitra. Sluneční paprsky jsou takto prakticky jediným zdrojem energie na Zemi.

3. Vlastnosti a rozdělení světla

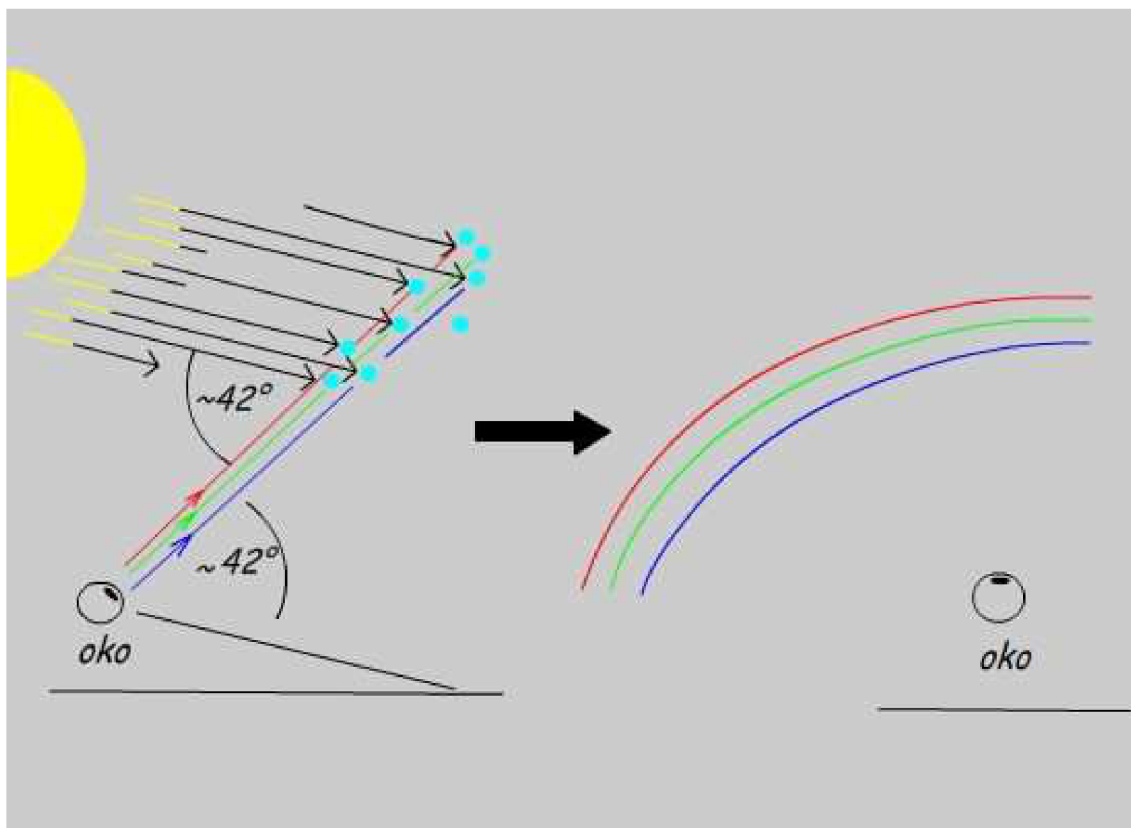
Postavíme-li slunečnímu paprsku do cesty optický hranol, nevytvoří při výstupu z hranolu světlu skvrnu, ale paprsek se rozloží v barevný pás - *spektrum* (obr. 2). Podobný barevný pás, jenž je mnohem větší, můžeme vidět za deště jako duhu.

Jiné optické prostředí – sklo hranolu odklání paprsky od jejich původní dráhy podle jejich vlnové délky. Bílé sluneční světlo je složeno, při lomu světla dochází k tomu, že se rozkládá na jednotlivé vlnové délky. Příčinou toho je závislost rychlosti světla v látkách na frekvenci – *disperze světla*. Při normální disperzi se rychlost světla zmenšuje s frekvencí. Ve vakuu k disperzi nedochází. Různé paprsky se lámou různě, proto na stínítku nebudou všechny v jednom bodě, ale rozloží se do barevného pásu. Nejméně se odklánějí červené paprsky a nejvíce fialové.



Obr. 2 lom paprsků a vznik spektra v hranolu

Úlohu skleněného hranolu zastupují u duhy dešťové kapky, které rovněž lámou barevné paprsky, jež tvoří bílé světlo. Různé barevné paprsky vycházejí z kapky pod různými úhly a vytvářejí na obloze barevný pás (obr. 3).



Obr. 3 lom paprsků a vznik spektra ve vodních kapkách

Vlnové délky viditelného světla jsou neobyčejně malé, vyjadřujeme je obvykle v nanometrech. Např. zelené barvě odpovídá vlnová délka 500 nm, červené světlo má vlnovou délku 650 nm. Od začátku 19. století připojili fyzikové k viditelnému světelnému spektru i nové oblasti neviditelných paprsků infračervené, ultrafialové později se ukázalo, že viditelné spektrum je ve srovnání s nimi velmi úzké.

O existenci neviditelných infračervených paprsků se lze přesvědčit *Herschelovými pokusy*. Položíme do tmy za červeným okrajem viditelného spektra teploměr se začerněnou ploškou, teplota stoupá. Tento pokus má háček: Skleněný hranol roztahuje kratší vlnové délky na větší kus stínítka, kdežto červené a zejména infračervené záření zůstává mnohem koncentrovanější. Takže zatímco největší jas má sluneční spektrum mezi žlutou a zelenou barvou, odkud skutečně přichází od Slunce nejvíc energie, jeho tepelné účinky jsou v tomto uspořádání maximální až za červeným koncem. Kdybychom však namísto hranolu použili spektrální mřížku, event. vzali v

úvahu proměnnou schopnost hranolu lámat světlo různých vlnových délek, pozorovali bychom v infračervené oblasti pokles teploty! Herschelův objev infračerveného záření byl tudíž výsledkem velké náhody.

Vlákno žárovky, žhavé uhlí, plamen svíčky vydávají nejen viditelné světlo, ale hlavně infračervené. Vědecký pokus dokazuje, že nejen rozžhavená, ale také mírně zahřátá, dokonce i chladná tělesa vyzařují záření, ovšem různě. Například, když si přiložíme dlaň ruky ke tváři, přesvědčíme se, že i naše tělo vyzařuje. Na tváři ucítíme teplo, je to teplo paprsků, které vyzařuje ruka.

Infračervené záření tvoří přibližně 44% z toku energie slunečního záření. Zaujímá oblast mezi nejkratšími radiovými vlnami o vlnové délce 1 mm a světlem o vlnové délce 780 nm. Z praktických důvodů je infračervené záření rozděleno do dvou pásem:

- ❖ *blízké infračervené záření* (NIR - Near Infra-Red radiation)
- ❖ *vzdálené infračervené záření* (FIR - Far Infra-Red radiation)

NIR záření je pásmo od 780 nm do 2400 nm zahrnující neviditelnou složku sluneční energie, kterou vnímáme jako sluneční teplo. Toto pásmo záření je zajímavé např. pro aplikace externích a interních okenních fólií. FIR záření leží nad pásmem NIR 2400 nm do 1 mm, toto záření není obsaženo ve slunečním spektru. Jde o záření teplých těles. Tato oblast je významná třeba při hodnocení kvality termoizolačních fólií na snížení tepelných ztrát. Fyzikálně vzato je naše tělo infračerveným zářičem v oblasti FIR, vysíláme infra-záření s maximem přibližně na 46 000 nm.

Obdobně na druhé straně viditelného spektra lze zjistit ultrafialové paprsky. UV zaujímá spektrální oblast vlnových délek od 100 do 400 nm. Tvoří asi 7% energie celkového elektromagnetického slunečního záření. UV záření se dělí obvykle podle biologických účinků do tří skupin:

- ❖ *dlouhovlnné UVA* (315 – 400 nm) – nezpůsobuje akutní zčervenání kůže
- ❖ *středněvlnné UVB záření* (280 – 315 nm) – způsobuje akutní poškození kůže
- ❖ *krátkovlnné UVC záření* (280 – 100 nm) – je absorbováno ozónovou vrstvou a na zemský povrch nedopadá.

UV složka záření ze Slunce je ořezána tzv. ozónovou vrstvou ve stratosféře.

Ozónová vrstva se nachází ve stratosféře atmosféry, tam se působením záření UVC kyslík O_2 mění na ozón O_3 . V polární oblasti málo svítí Slunce, tedy zde bude

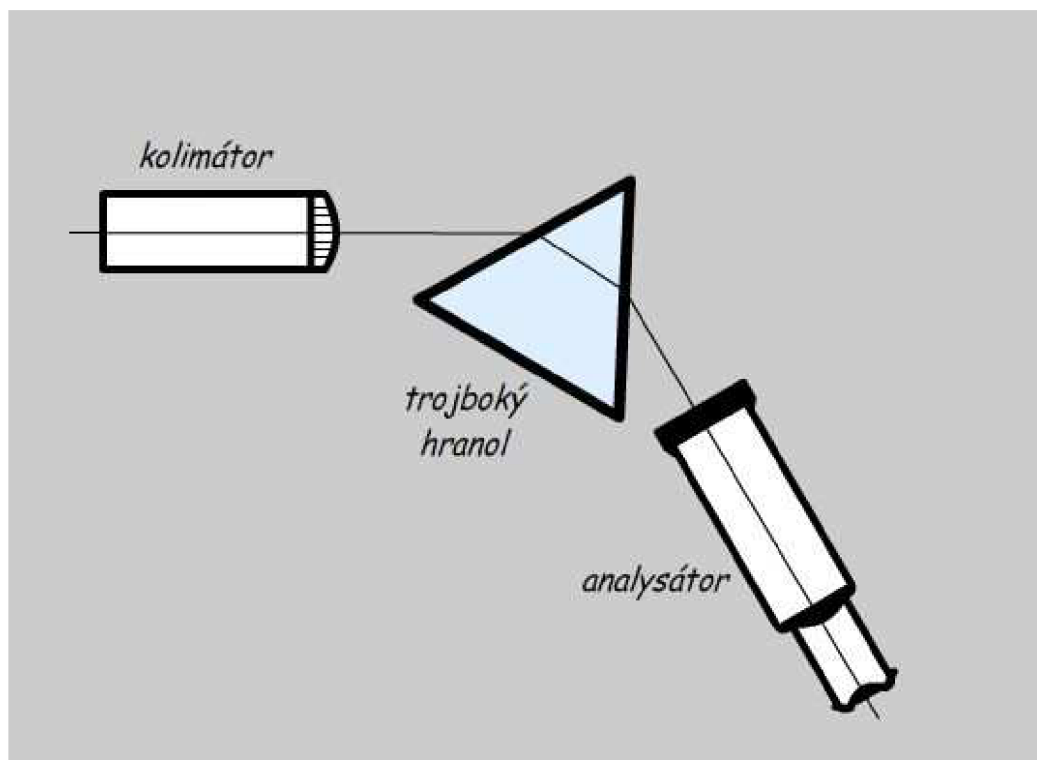
vždy nějaká ozónová díra. Otázkou je, jak bude velká. Kromě veškerého UVC záření ozón absorbuje i velkou část UVB záření, což znamená, že UV záření na Zemi je tvořeno UVA (90 – 99%) a malou částí UVB (1 – 10%).

4. Zákony vyzařování

Druh záření pevného tělesa závisí hlavně na jeho teplotě a povrchu. Pevná a kapalná tělesa vyzařují světlo všech vlnových délek, proto spektra těchto těles se nazývají spojitými. Rozžhavený plyn nevytváří spojitě spektrum, nýbrž spektrum, které se skládá z osamělých čar na temném pozadí. Je to takzvané *emisní čárové spektrum*. To znamená, že každý plyn vyzařuje pouze některé, a to zcela určité vlnové délky.

Ze srovnání spektra neznámé látky se známým spektrem mohou vědci usoudit, o jakou látku jde. Chemickou strukturu nepatrného množství látky lze tedy zjistit studiem jejího spektra – *spektrální analýzou*.

Využití spektrální analýzy je mnohé: v astrofyzice (zjišťování složení hvězd - čárová spektra prvků), v analytické chemii (složení a koncentrace látek), v průmyslu (metalurgie), v lékařství, potravinářství, kriminalistice. Spektra ve školních podmínkách obvykle zkoumáme hranolovým spektrometrem (obr. 4, obr. 5).



Obr. 4 schéma školního spektrometru

Základní součástí školního spektrometru je trojboký hranol, kolimátor, analysátor a stupnice.



Obr. 5 školní spektrometr (zdroj wikipedia.cz)

Druhy spekter:

Spojité spektrum - souvislý barevný pruh, v němž jednotlivé barvy plynule přecházejí jedna v druhou, je vysíláno zejména rozžhavenými látkami v pevném a kapalném skupenství (např. vlákno žárovky, roztavené kovy,...), je u všech látek stejné.

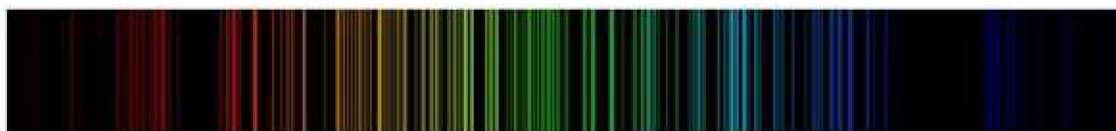


Obr. 6 spojité spektrum (převzato: http://cs.wikipedia.org/wiki/Čárové_spektrum)

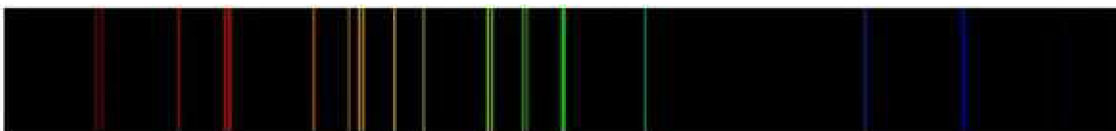
Čárové spektrum - spektra, která vyzařují atomy plynů zahřátých na vysoké teploty nebo spektra plynů zářících ve výbojových trubcích; skládají se z jednotlivých barevných čar (úzkých a ostrých) oddělených od sebe tmavými mezerami a jsou charakteristická pro každý prvek.



Obr. 7 čárové spektrum vodíku (převzato: http://cs.wikipedia.org/wiki/Čárové_spektrum)



Obr. 8 čárové spektrum uhlíku (převzato: http://cs.wikipedia.org/wiki/Čárové_spektrum)



Obr. 9 čárové spektrum síry (převzato: http://cs.wikipedia.org/wiki/Čárové_spektrum)



Obr. 10 čárové spektrum sodíku (převzato: http://cs.wikipedia.org/wiki/Čárové_spektrum)

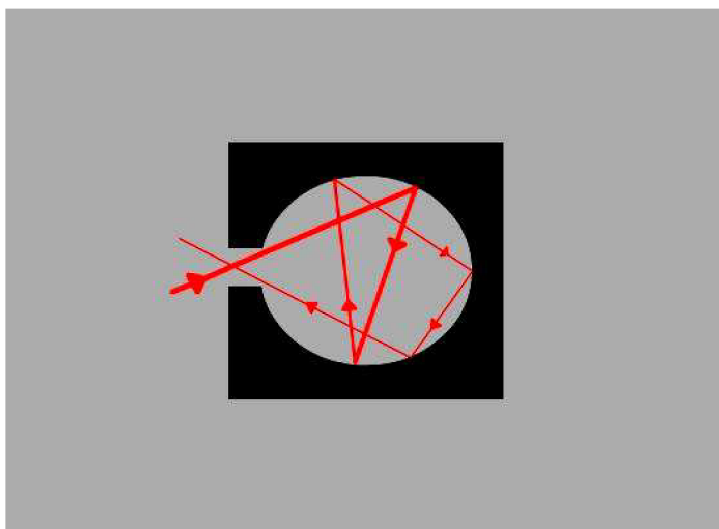
Je-li mezi rozžhaveným pevným tělesem a spektrografem nějaký plyn, jehož teplota je nižší než teplota rozžhavaného tělesa, spektrograf neukáže spektrum spojitě, ale čárové. Avšak v tomto případě budou čáry tmavé. Srovnáme-li jejich polohy s polohou světlých čar ve spektru téhož plynu v rozžhavaném stavu, zjistíme, že světlé a tmavé čáry, které vyvolává též látka, zaujímají ve spektru vždy stejnou polohu.

Atomy plynu totiž pohlcují právě ty vlny, které jsou samy schopny vyzářit. Atomy se touto selektivní absorpcí vybudí a po chvíli vyzáří odpovídající kvanta. Pohlcením příslušných energetických kvant atomy na chvíli přecházejí do vyššího energetického stavu. Ten je méně stabilní, takže po nějakém krátkém čase se atomy zase "vybijí" - přejdou do svých původních stabilních stavů tím, že se zbaví přebytečné energie vyzářením světla (fotonu) dané vlnové délky ovšem ne nutně v původním směru. Ve směru prozařování plynu tedy prochází méně světla daných délek. V ostatních směrech pak můžeme na téže vlnové délce pozorovat naopak emisní čáry. Zbylé, pro daný typ atomu nezajímavé, vlnové délky procházejí. Tak v procházejícím světle pozorujeme absorpční čáry.

5. Černé těleso

Studiem zákonů záření fyzikové dospěli k zavedení důležitého pojmu - *absolutně černého tělesa*. Tak se označuje těleso, které pohlcuje všechny dopadající paprsky, tj. žádné neodráží ani nepropouští. V přírodě se absolutně černá tělesa, v přesném smyslu toho slova, nevyskytují, avšak jsou látky, např. saze nebo platinová čern, které se svými vlastnostmi podobají absolutně černému tělesu. Slunce patří také k tomuto druhu těles. Zákony záření černých těles byly poprvé stanoveny právě při studiu slunečního záření. Slunce téměř vůbec neodráží dopadající paprsky a vůbec je nepropouští, protože žádný paprsek nemůže proniknout celou obrovskou tloušťkou silně rozžhavených plynů, z nichž je Slunce složeno.

Černé těleso je možné v praxi realizovat dutinou se začerněnými vnitřními stěnami a malým otvorem, kterým záření vstupuje. Při mnohanásobných dopadech a odrazech na stěnách dutiny se toto záření pohlcuje a opět je stěnami dutiny vyzařováno (obr. 11) Tím vzniká tepelná rovnováha mezi dopadajícím zářením a zářením vyzařovaným stěnami nádoby. Otvorem vychází jen malá část záření, takže se tepelná rovnováha podstatně nenaruší.



Obr. 11 absolutně černé těleso

Jelikož černé těleso pohlcuje více než kterékoliv jiné těleso, pak ze zákona záření plyne, že vyzařuje také více než kterékoliv jiné těleso při stejné teplotě. Černé těleso vysílá tedy více tepelného záření, než může vysílat kterékoliv skutečné těleso při stejné teplotě.

Záhy byla objevena úzká souvislost mezi vyzařováním a pohlcováním u všech těles. Čím více těleso pohlcuje při dané teplotě, tím více při stejné teplotě vyzařuje. Důležitý termín, který se zde zavádí, je bezrozměrná veličina zvaná *emisivita* – *poměrná zářivost*. Emisivita materiálu ε je poměr záření dané vlnové délky vyzařované zkoumaným materiálem k záření téže vlnové délky, které by vyzařovalo absolutně černé těleso téže teploty.

Emisivita (ε) je tedy zavedena jako poměr mezi intenzitou vyzařovaného reálného tělesa M_R a intenzitou vyzařování černého tělesa M_A o dané teplotě T .

$$\varepsilon = \frac{M_R}{M_A}$$

Absolutně černé těleso má $\varepsilon = 1$, zatímco jiné objekty obvykle mají $\varepsilon < 1$.

Základní zákon záření vyplývající z termodynamických úvah formuloval Kirchhoff: Poměr emisivity k pohltivosti je pro těleso a danou vlnovou délku hodnota stálá, která závisí pouze na teplotě. Jinými slovy dělíme-li emisivitu tělesa jeho absorpcí, dostáváme podíl, který má stejnou hodnotu pro nejrůznější tělesa, mají-li ovšem tato tělesa stejnou teplotu.

Hodnota emisivity nemůže být větší než 1, tedy v rovnovážném stavu není možné, aby těleso vyzařovalo více než černé těleso za dané teploty.

Celkové množství energie, vyzařované černým tělesem, prudce vzrůstá se zvyšováním teploty, vyjadřuje to Stefan – Boltzmannův zákon, který říká, že celkový výkon záření z ploch A tělesa je úměrný čtvrté mocnině jeho absolutní teploty.

$$P = \varepsilon(T) \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad \text{W/m}^2$$

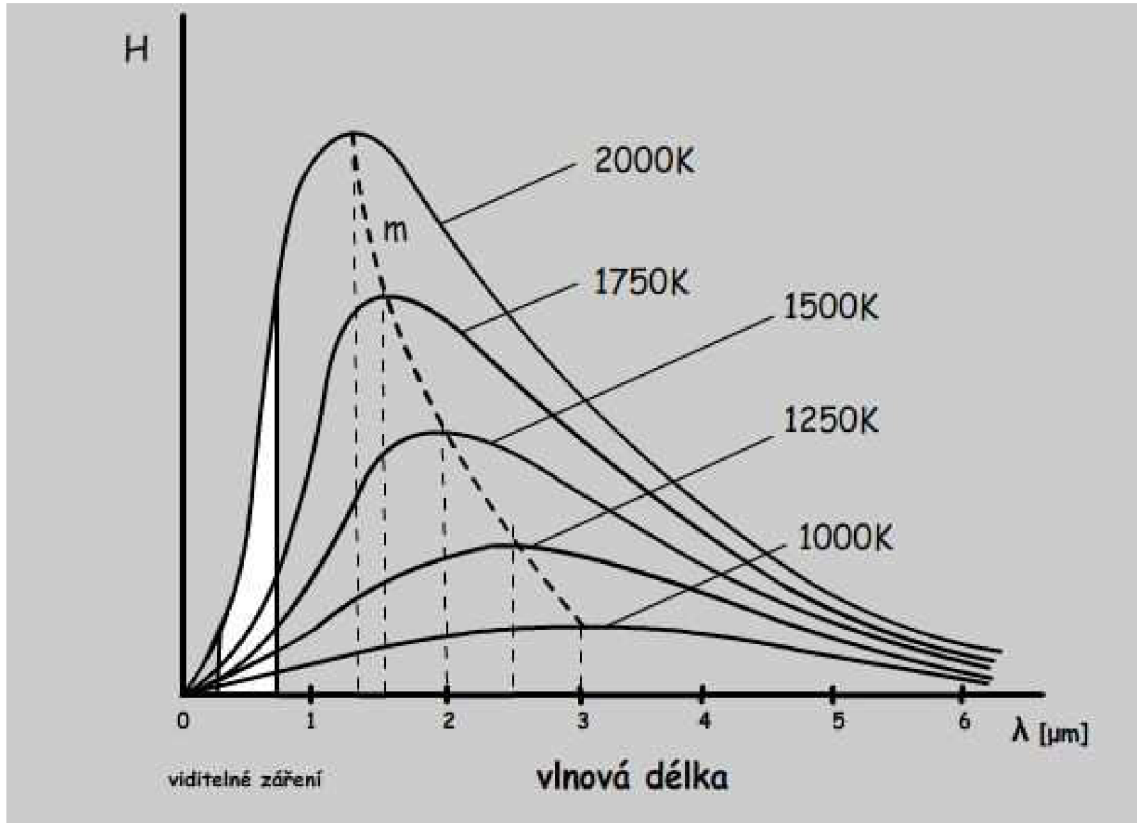
kde konstanta $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

Například černé těleso při teplotě 300°K (přibližná teplota zemského povrchu) vyzařuje 448 kJ. Vzroste-li absolutní teplota 3krát, zvýší se celkové množství 81krát.

Kromě celkového množství vyzařované energie, je třeba znát i její rozdělení, tj. kolik energie se vyzařuje v té či oné oblasti spektra. V experimentech byla měřena veličina spektrální intenzita vyzařování H

$$H = \frac{\Delta E}{\Delta \lambda} \quad \text{Wm}^{-2} \text{m}^{-1},$$

kde ΔE výkon záření vycházející z 1 m^2 plochy, vztažený na malý interval $\Delta \lambda$ vlnových délek. Závislost veličiny H na vlnové délce λ při různých teplotách trubice je znázorněna na (obr. 12)



Obr. 12 rozdělení energie ve spektru černého tělesa

Experimentálním studiem bylo zjištěno, že každá křivka na obrázku má výrazné maximum při určité vlnové délce λ_{MAX} . S rostoucí teplotou se toto maximum posouvá ke kratším vlnovým délkám. Všechna maxima spojuje křivka - hyperbola. Podrobnějším studiem této křivky m bychom zjistili, že pro vlnovou délku v maximum intenzity vyzařování platí *Wienův zákon posuvu*

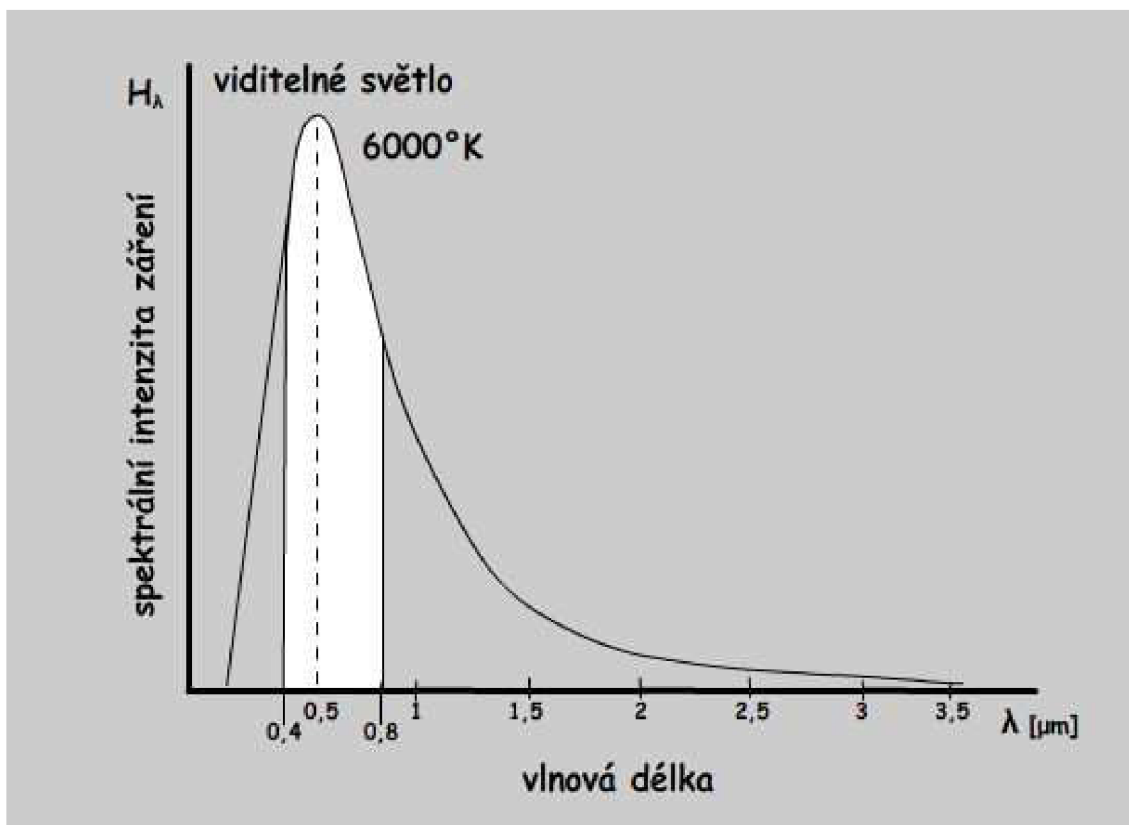
$$\lambda_{\text{max}} T = b$$

kde $b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$.

Celkový výkon vyzařovaný při dané teplotě T povrchem černého tělesa o plošném obsahu 1 m^2 (intenzita vyzařování M_e) je úměrný plošnému obsahu obrazce vymezenému křivkou dané teploty a osou λ . Kdybychom změřili plošné obsahy pod křivkami pro různé teploty, dostali bychom Stefanův – Boltzmannův zákon.

Podle kvantové teorie světlo není vyzařováno a pohlcováno spojitě, nýbrž v jednotlivých dávkách energie – *kvantech*. Pojmy foton a energiové kvantum stojí v základech kvantově mechanického pojetí světla a částic.

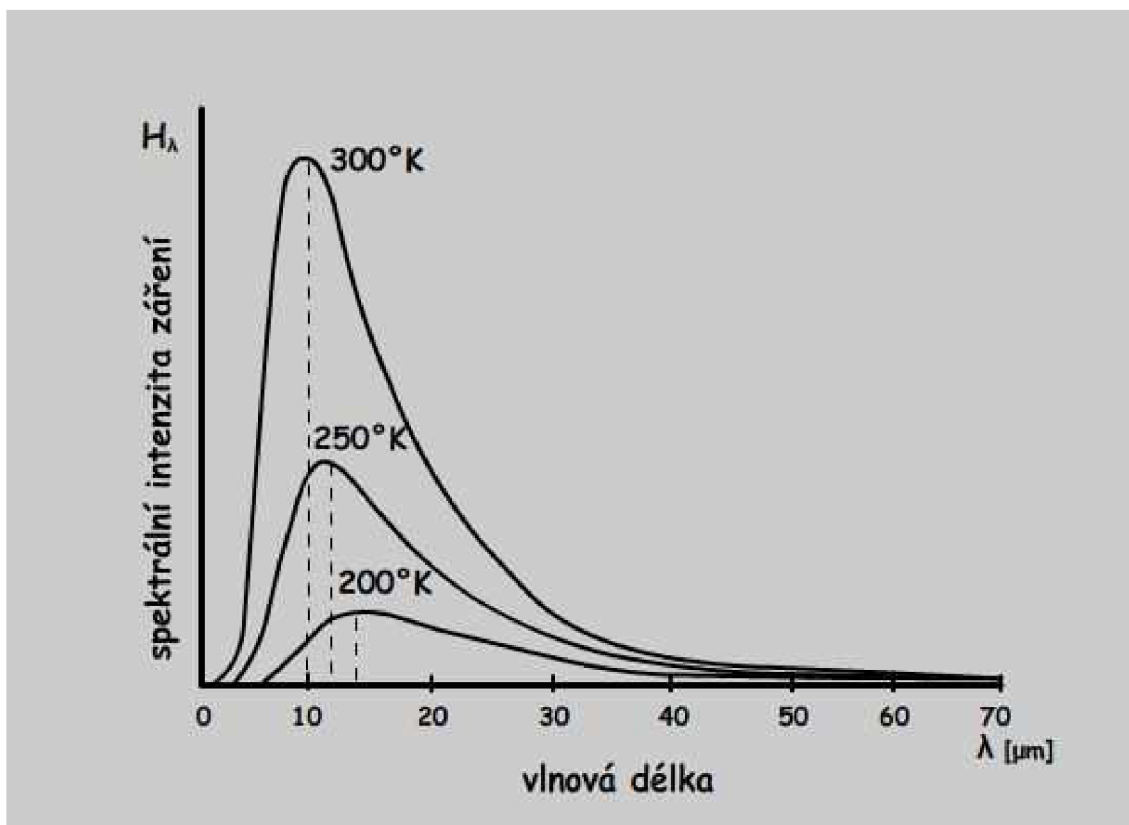
Emisní spektrum černého tělesa o $T= 6000\text{K}$ je graficky znázorněno na (obr. 13).



Obr. 13 spektrum černého tělesa- rozdělení energie ve spektru černého tělesa při absolutní teplotě 6000K

Na vodorovné ose jsou naneseny různé vlnové délky vyzařované tělesem, na svislé spektrální intenzita záření. Vidíme, že pro velmi krátké vlny prochází křivka v blízkosti nuly, na těchto vlnách již těleso za dané teploty nevyzařuje. S rostoucí vlnovou délkou rychle vzrůstá množství vyzařované energie až do maxima. Za ním množství vyzařované energie postupně klesá.

Budeme-li studovat dokonale černé těleso při vyšší teplotě, křivka půjde výše a její maximum se posune doleva. Při nižší teplotě bude maximum nižší a posune se vpravo, ale obecný charakter křivek zůstane zachován (obr. 14).



Obr. 14 spektrum černého tělesa- rozdělení energie ve spektru černého tělesa při absolutní teplotě 300°K, 250°K, 200°K

V oblasti maxima je soustředěna většina záření. Experimentálně i z Wienova posunovacího zákona se ukázalo, že součin absolutní teploty černého tělesa a jeho příslušné vlnové délky v „maximu“ se rovná konstantě – např. pro λ v mikrometrech to bude vždy 2897. Tedy čím vyšší je teplota tělesa, tím kratší je vlnová délka v maximum jeho záření. Maximum záření černého tělesa o teplotě 300K leží kolem 10 μ m (infračervená oblast), u tělesa s teplotou 6000K leží maximum kolem 0,5 μ m (žlutozelená část viditelné oblasti spektra).

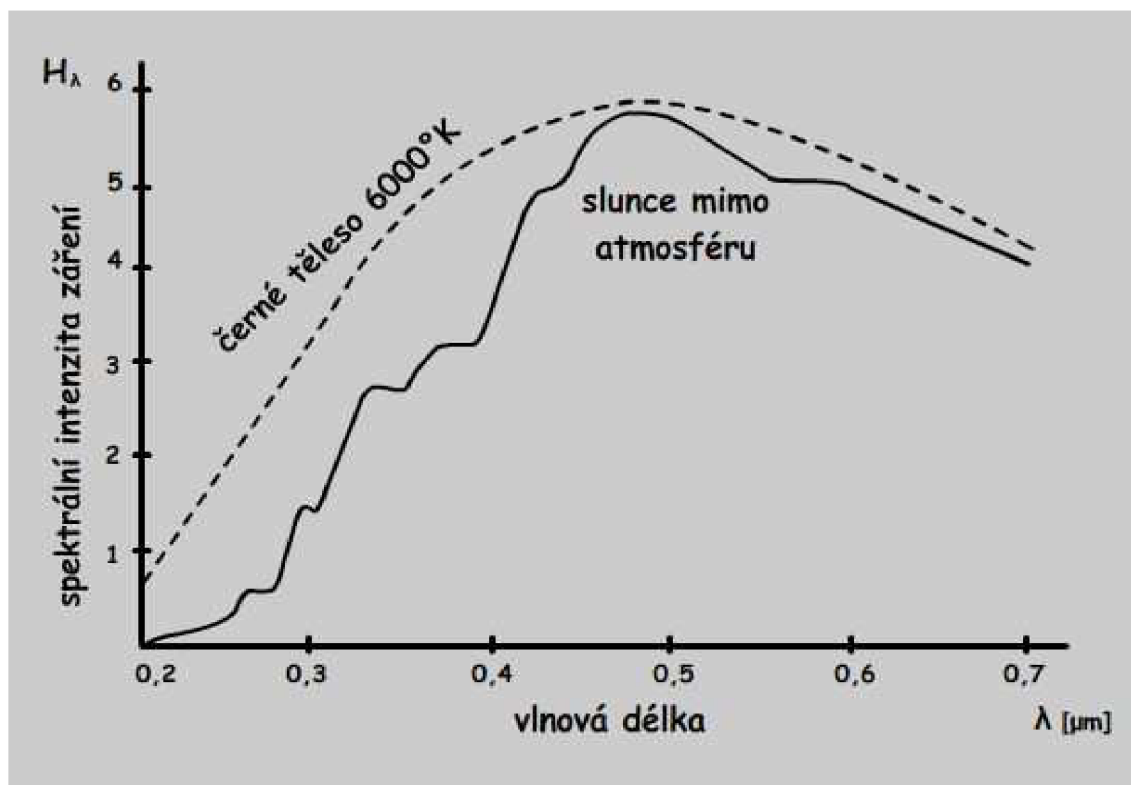
6. Sluneční paprsky

Slunce je naše nejbližší hvězda. Ve středu Slunce dosahuje teplota až 21 miliónů stupňů, povrch má teplotu asi 6000K. Objem Slunce je milion třístatisíckrát větší než objem Země. Zdrojem sluneční energie jsou jaderné přeměny. Výzkumy Slunce ukazují, že je v podstatě složeno z vodíku a hélia. Ostatní chemické prvky tvoří méně než 10 % jeho hmoty. Vodík se mění v helium, přičemž se uvolňuje obrovské množství energie, kterou Slunce vyzařuje. Jaderná reakce, při které v hlubinách Slunce vzniká helium,

probíhá vždy za přítomnosti uhlíku. Na Slunci jej není mnoho, všeho všudy 1% celkové hmotnosti, ale stačí to k tomu, aby přivedl čtyři jádra vodíku. Celá reakce, která se skládá ze šesti etap, nazývá „uhlíkový cyklus“. Jádro uhlíku se spojí s jádrem vodíku. Vznikne jádro dusíku a uvolní se záření. Připojí se k němu druhé jádro dusíku a později třetí a čtvrté. Výsledkem je první jádro uhlíku a ze čtyř jader vodíku vznikne jádro helia. Všechny tyto proměny jsou doprovázeny uvolňováním obrovského množství energie.

Fotosféra Slunce je zářící obal Slunce, který vidíme. Samotný povrch Slunce je neurčitelný, protože paprsky, které k nám dopadají, přicházejí z různých vrstev plynů, jež tvoří sluneční atmosféru. Stejně neurčitá je teplota slunečního povrchu. Teplota fotosféry je střední teplotou fotosférických vrstev. Na základě dohody se považuje za teplotu slunečního povrchu a pro stručnost se zpravidla uvádí, že je to teplota samotného Slunce.

Pozorujeme-li sluneční kotouč v dalekohledu, zdá se nám, že je při okrajích tmavší než ve středu. Je tomu tak proto, že ze střední části kotouče k nám přicházejí paprsky z hlubších a proto i rozžhavenějších vrstev, než jsou paprsky, které vycházejí šikmo z okrajů kotouče. Množství energie odpovídající různým vlnovým délkám v emisním spektru slunečního záření je znázorněno na (obr. 15) spojitou čarou.



Obr. 15 záření černého tělesa při 6000°K a záření Slunce mimo atmosféru

Toto rozdělení energie ve slunečním spektru se liší od toho, které zjišťujeme při měřeních na zemském povrchu; toto zkreslení zavinuje zemská atmosféra.

Na (obr. 15) je pro srovnání znázorněno přerušovanou čarou rozdělení energie v emisním spektru černého tělesa při teplotě povrchu Slunce. Křivky se navzájem od sebe liší. Tzn., že záření Slunce není zcela ve všech vlnových délkách stejné jako záření černého tělesa při 6000 K.

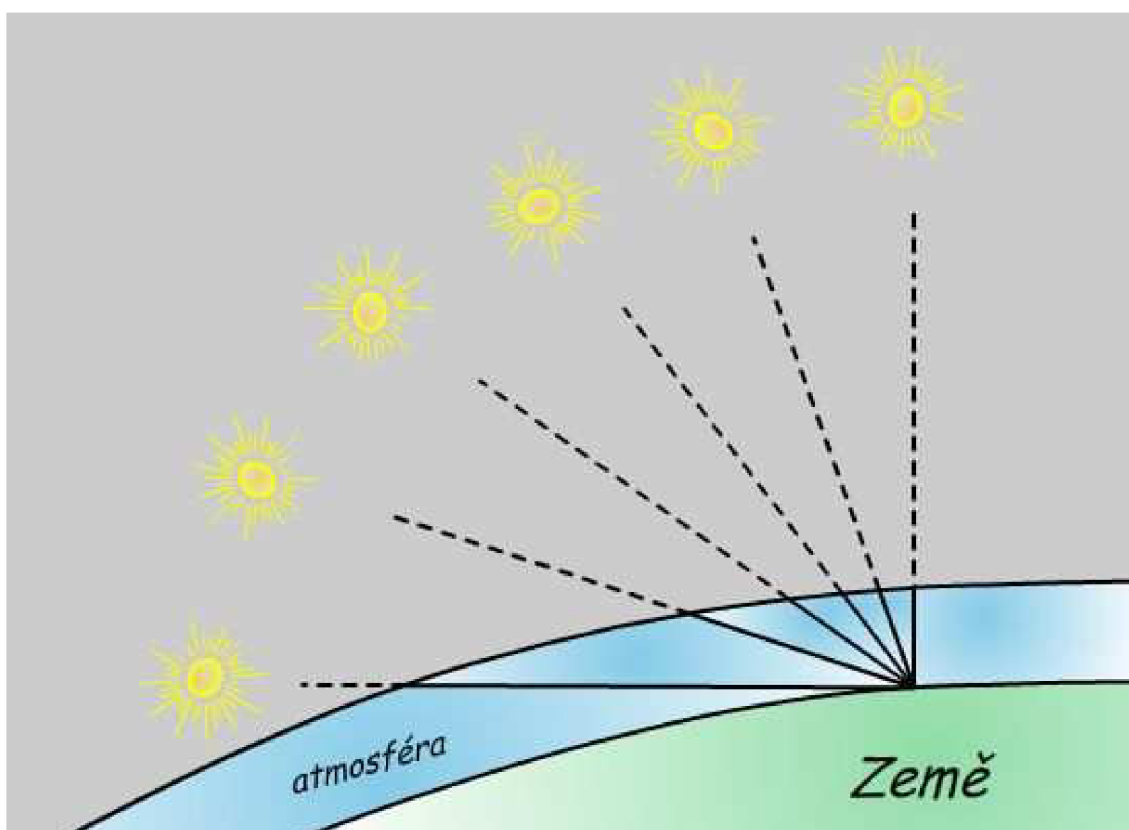
Pouze v části, která obsahuje viditelnou oblast, křivka slunečního záření je přibližně totožná s křivkou záření černého tělesa. V jiných částech spektra je tomu jinak.

Ve vzdálené ultrafialové oblasti kolem $0,1 \mu\text{m}$ má Slunce přebytek záření, které stokrát převyšuje záření černého tělesa při 6000 K. Přebytek je vyvolán zářením sluneční korony.

Raději tedy mluvíme o barevných, ultrafialových, infračervených a radiových teplotách Slunce, podle toho, kterým částem spektra odpovídají. Určení různých teplot Slunce se tedy redukuje na změření energie v jednotlivých částech spektra slunečního záření, dopadajícího na horní hranici atmosféry. Můžeme to provést v principu dvěma způsoby.

První způsob se zakládá na tom, že vyšleme dostatečně vysoko např. raketu s měřicími přístroji. Spojitá křivka na (obr. 15) byla získána právě tímto způsobem.

Druhým způsobem je určení energie slunečního záření pomocí pozorování ze zemského povrchu. Provádí se takto: za dne se při různých výškách Slunce nad obzorem měří dopadající záření. Čím kratší je dráha slunečního paprsku, tím více sluneční energie k nám pronikne (obr. 16). Tak například v poledne, kdy dráha paprsků v atmosféře je nejkratší, bývá záření největší. Závislost mezi délkou dráhy v atmosféře a hodnotou dopadajícího záření se převádí na případ, kdy paprsky dopadají na hranici atmosféry, tedy když se dráha rovná nule. Tímto způsobem se určí záření, dopadající na horní hranici atmosféry.



Obr. 16 závislost mezi výškou Slunce nad obzorem a délkou dráhy slunečního paprsku v atmosféře (hmotou atmosféry)

Při takovýchto zkoumáních je třeba, aby se jasnost vzduchu od měření k měření neměnila. Proto se pozorování konají pouze za jasných bezvětřných dnů při stálé průzračnosti atmosféry.

Slunce ovlivňuje klima, změny v jeho parametrech jsou dosti pomalé na to, aby se život na ně stačil adaptovat. Zemské klima ovlivňují různé typy rotací a náklonů Země vůči Slunci. Základním druhem pohybu ovlivňujícím "astronomické klima" je precesní pohyb, kdy se pohybuje rovina zemské osy (jednou za 22 000 let). Země je buďto v přísluní, anebo v odsluní. Dalším faktorem je náklon zemské osy ke kolmici ekliptiky. Perioda náklonu trvá 40 000 let a ovlivňuje sezónní příjem energie v oblasti obou pólů (ovlivňuje zalednění). Díky těmto oscilacím trvá ochlazování země 65 až 75 milionů let. Dalším faktorem je tvar oběžné dráhy Země kolem Slunce. Perioda změny eliptické dráhy je 92 000 až 100 000 let.

7. Cestou k povrchu Země

Světlo ze Slunce dorazí přibližně za 8 minut na hranici zemské atmosféry (obr. 17). Hranice atmosféry je konvenční pojem. Nelze říct, že atmosféra sahá do této výšky a dále ne. Ve skutečnosti se její vysoké vrstvy stále více zřed'ují, až postupně přecházejí v meziplanetární prostor. Konvenčně se za první, nejvyšší vrstvu atmosféry považuje **exosféra**, která začíná ve výškách nad 600 - 1000 km. Z této vrstvy se molekuly nejlehčích plynů rozptylují do meziplanetárního prostoru. Exosféra je nejřidší vrstva, je zde pouze zbytková směs vodíku, helia a kyslíku. Zanikají tu některé částice slunečního větru a kosmického záření.

Další rozlišovanou vrstvou je **termosféra**, až do 300 km v ní teplota vzrůstá. Vzduch je velmi řídký. Jde spíše o vrstvu slabě ionizovaného plazmatu, které má vysokou teplotu a elektrickou vodivost. Vlastností ionosféry je odrazení rádiových vln, což umožňuje příjem rozhlasu.

Mezosféra je prostřední vrstva mezi stratosférou a termosférou. Sahá od 50 km až do výšky kolem 85 km. Tato vrstva se nachází příliš vysoko nad výškou, kde létají letadla a příliš nízko pro satelity, takže je její průzkum poměrně složitý. Je pro ni charakteristický pokles teploty s výškou (až na $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$) a noční výskyt stříbřitých mraků.

Stratosféra se nachází ve výškách 11 km až 50 km, až do 30 km je zde stálá teplota od -45 do $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ podle zeměpisné polohy. V horní vrstvě stratosféry teplota s výškou stoupá až na $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ve výšce asi 25 km je ozonosféra. Ve stratosféře téměř chybí vodní páry a aerosoly. Existují zde již vzdušné proudy.

Převážná část atmosféry, asi 75 % hmotnosti, je obsažena v **troposféře**, kde žijeme. Horní hranice se mění v závislosti na roční době a podle zeměpisné polohy. Nad polárními oblastmi je hranice asi 6 km, kolem rovníku zasahuje troposféra až do 16 km. V pásmu mírných zeměpisných šířek sahá do průměrné výšky 11 km, v zimě to může být jen 6 km, v létě do 14 km. Teplota v troposféře klesá o $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 m výšky, také hustota a tlak vzduchu se snižují.

Složení vzduchu 78,09 % dusík, 20,95 % kyslík, 0,93 % argon, 0,036 % kysličník uhličitý, asi do 0,001 % vodík, 0,0018 % neon, 0,0005 % helium a docela nepatrné množství kryptonu a xenonu, jisté množství aerosolů např. prachu.

Atmosféra obsahuje vodní páru, jejíž obsah se značně mění v závislosti na teplotě vzduchu. Čím je teplota vyšší, tím více páry vzduchu obsahuje. Vodní pára hraje velmi důležitou úlohu v atmosférických procesech.

Nepřihlížíme-li k měnícímu se množství vodní páry, je složení vyšších vrstev vzduchu nad všemi zeměpisnými šířkami Země prakticky stejné. Bylo dokázáno rozborem vzduchu, že co do složení sahá stejnorodá vzduchová vrstva do výšky 100 kilometrů. Příčinou toho jsou vzdušné proudy, které neustále mísí atmosférické vrstvy.

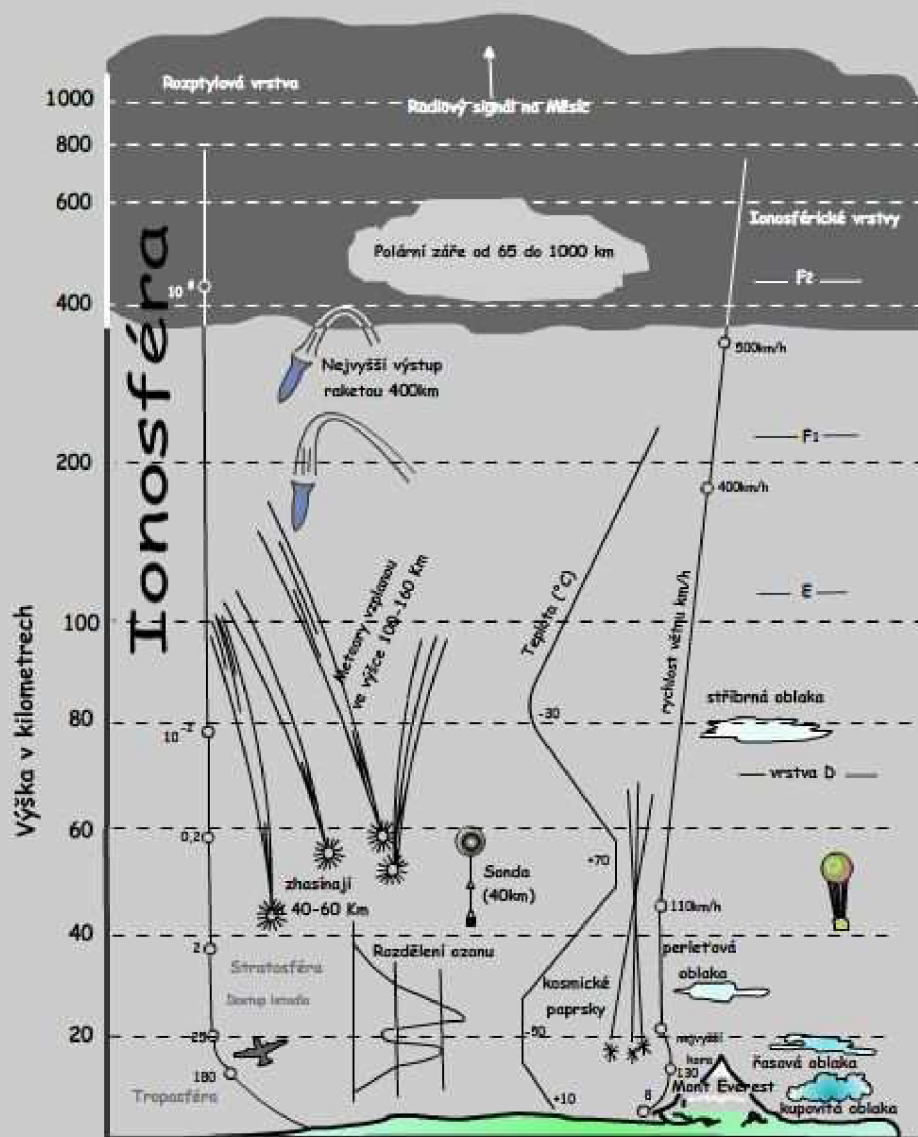
Sluneční paprsky, dříve než dopadnou na zemský povrch, musí proniknout všemi těmito vrstvami. Část jich při tom pohltí atmosféra a část je odražena zpět do meziplanetárního prostoru.

Paprsky, které pronikly exosférou a vytvořily „elektrickou oblohu“ ionosféry, za to zaplatily pouze vzdálenými okraji svého ultrafialového spektra. Na jejich další cestě k povrchu leží stratosféra. V ní, ve výšce od 10 km do 50 km, v ozonoféře, se ultrafialová část slunečního světla s vlnovou délkou do 240 nm účastní fotochemického procesu. UVC paprsky dopadají na molekuly kyslíku O_2 a rozdělují je na atomy O . Volný atom kyslíku se pak spojuje s molekulou kyslíku a vytváří molekulu ozonu O_3 . Ultrafialové paprsky utvoří z kyslíku ozonový filtr, v němž samy uvážnou. Ozonová vrstva má nejvyšší koncentraci ozónu ve výšce 25 kilometrů. Počet proměn ozonu v kyslík vzrůstá účinkem zvyšování teploty směrem k Zemi. Kdybychom všechen ozon, který je ve vzduchu, stlačili tlakem jedné atmosféry při teplotě $0^\circ C$, vytvořil by vrstvu tlustou tři milimetry. Delší vlny, tzv. UVA, ozonoféra propouští k Zemi, jsou pro život potřebné.

V tenké střední vrstvě stratosféry teplota rychle stoupá na $70 - 100^\circ C$. Toto zvýšení teploty způsobují právě fotochemické reakce v ozonoféře. Ve spodní vrstvě stratosféry vládne rovnováha záření. Kolik tepla přijde, tolik ho také odchází. Teplota je tam stálá.

Dále sluneční paprsek prochází vrstvou zvaná tropopauza. Je tenká 1 – 2 km. V ní se vzduch stratosféry mísí se vzduchem ležícím níže, tj. se vzduchem troposféry. Vznikají zde mračna, deště, sníh, mlhy a vanou tu větry. V poslední vrstvě - troposféře je soustředěno přibližně 75% hmoty celé atmosféry. Přímé sluneční paprsky jsou při průchodu i za bezmračné oblohy zeslabovány ze tří příčin:

- 1) pohlcují je molekuly plynů,
- 2) za druhé – pohlcují a rozptylují je částice prachu,
- 3) rozptylují se na fluktuacích hustoty vzdušných hmot.

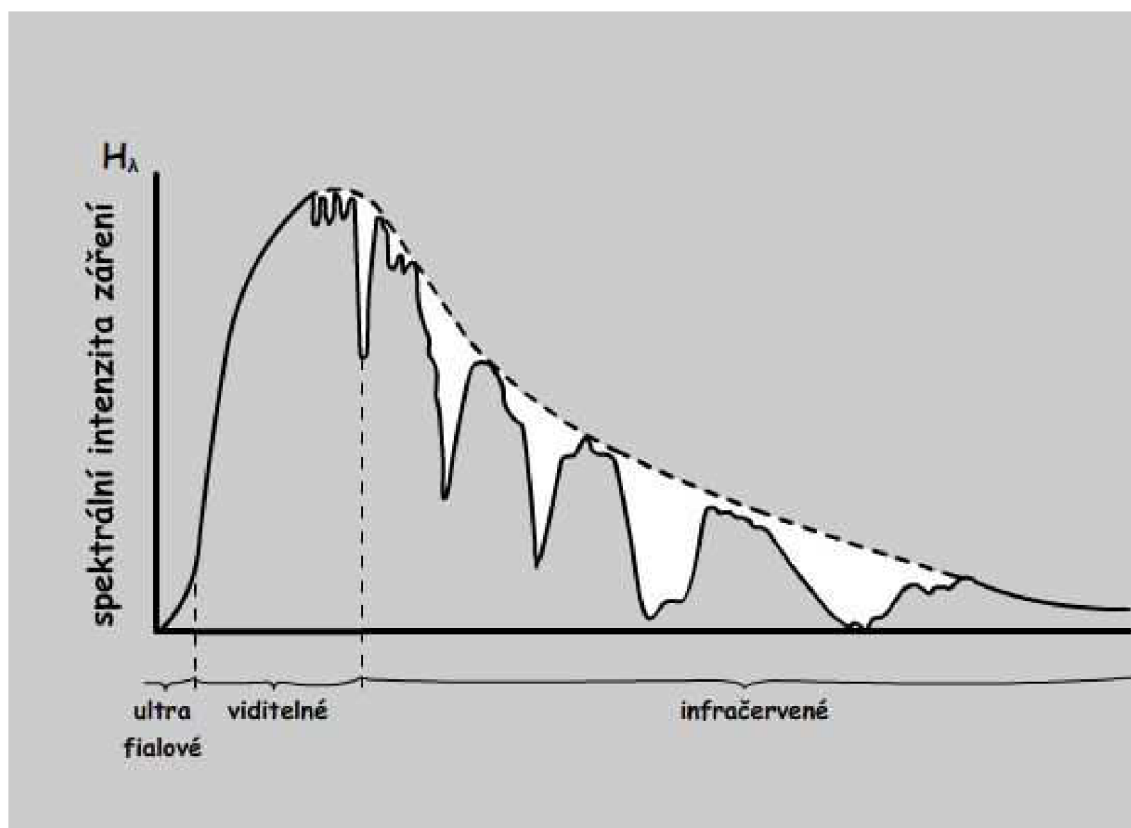


Obr. 17 atmosféra

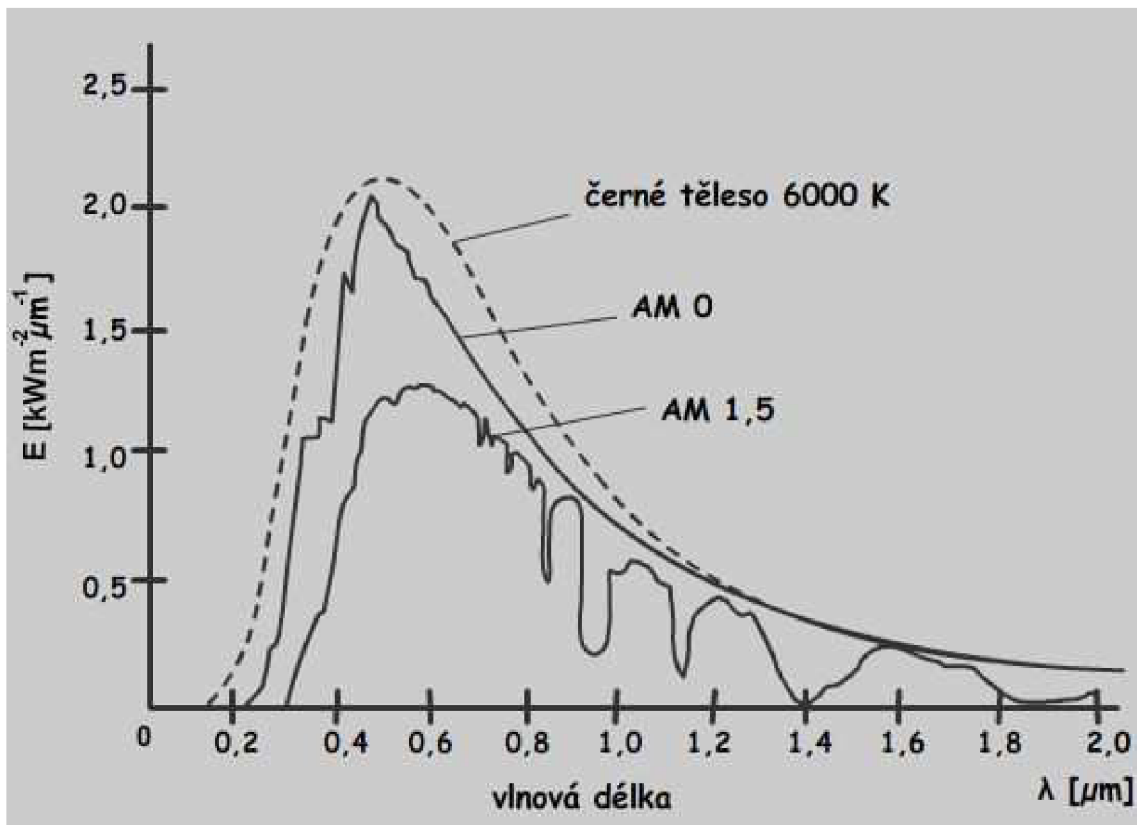
Fluktuacemi hustoty se nazývají náhodná místní zhuštění, která vznikají v plynu neuspořádaným pohybem molekul. V každém okamžiku může několik molekul zamířit do téhož místa a vytvořit tak shluk, čímž vznikne oblast větší hustoty, než je v okolí.

Sluneční zářivou energii pohlcují ze všech plynů vzdušné směsi nejvíce vodní páry. Čárkovaná křivka (obr. 18) znázorňuje spektrum slunečního záření, dopadajícího na hranici atmosféry. Spojitá čára představuje spektrum tohoto záření, které před dopadnutím na Zemi prochází vodními parami, a vybarvené části udávají vlnové délky, jež atmosféra pohlcuje.

Ukazuje se, že vodní páry pohltní asi 17% dopadajícího slunečního záření. Je zajímavé, že jdeme-li od severu k jihu, množství záření pronikajícího k Zemi při téže výšce Slunce nevzrůstá, ale klesá. Dochází k tomu proto, že teplejší jižní vzduch obsahuje větší množství vodních par. Obsah vodní páry ve vzduchu se značně mění v závislosti na teplotě vzduchu. Čím je teplota vyšší, tím více vodní páry může vzduch pojmout. Nad rovníkem obsahuje vzduch přes 2,6 % vody, v mírném pásmu už jen 0,9% a v polárních oblastech kolem 0.22 %.



Obr. 18 spektrum slunečního záření na hranici atmosféry a po průchodu vodními parami



Obr. 19 spektrum slunečního záření mimo atmosféru, po průchodu atmosférou

Sluneční spektrum (obr. 19):

- ❖ AM (air mass) 0 – měřeno nad atmosférou Země,
- ❖ AM 1,5 – modelové spektrum záření po průchodu bezoblačnou atmosférou, po průchodu 1,5 násobkem tloušťky zemské atmosféry (při šikmém dopadu 45°). Čárkovaná křivka je spektrum vyzařování černého tělesa o teplotě 6000 K.

Aerosoly

I tak zvaný čistý vzduch obsahuje vždy větší nebo menší množství rozptýlených příměsí. Jsou to droboučké částice o průměru kolem $0,1 \mu\text{m}$, kapky vody a roztoky solí, krystalky ledu a mořské soli, kosmický a sopečný prach, částičky písku a hlíny, pel, výtrusy rostlin a mikroorganismů, vápencové kostry, škebličky drobných měkkýšů a krovky hmyzu.

Hlavními zdroji prachu na Zemi jsou pouště s vysušenou půdou. Vítr v nich sfoukává povrchové vrstvy a přenáší je do velkých vzdáleností. Sopečný prach a kouř rašelinových a lesních požárů roznáší vítr do vzdálenosti desítek až stovek kilometrů. Drobnohledný prach, vyzdvižený stoupajícími proudy, padá velmi pomalu, a proto se může vznášet ve vzduchu celé týdny, měsíce i roky.

Množství atmosférických příměsí se pohybuje od několika set částic na krychlový centimetr v čistém horském vzduchu do statisíců ve městě. Obrovský význam mají stromy. Kouř a prach se zachycuje na větvích a listech a neproniká, až v takové míře, do bytů. Mnoho let se prováděly výzkumy atmosférického vzduchu v průmyslových oblastech západní Evropy. Ukázalo se, že v Anglii, je ve vzduchu takové množství kouřových částic, že se ztrácí na 50% slunečního záření.

Atmosférický prach mění i složení světla. Krátkovlnné záření, ultrafialové paprsky, kterým se podařilo proniknout ionosférou a vrstvou ozonu, jsou rozptylovány a pohlcovány drobnými částicemi prachu více, než červená dlouhovlnná část spektra.

Atmosférický prach zeslabuje sluneční záření nepřímo také tím, že podporuje vznik oblak a mlh. V absolutně čistém vzduchu se vodní pára nesráží v kapičky vody ani při čtyřnásobném nasycení, tj. ani když je relativní vlhkost vzduchu 400%. Avšak jestliže se ve vzduchu vyskytnou drobné hygroskopické částice menší než 0,2 μm , pára se na nich sráží už při relativní vlhkosti 75%. Takovéto částice, na nichž se sráží vodní pára, se nazývají kondenzačními jádry.

Rozptyl světla závisí na vlnové délce dopadajícího světla a na velikosti rozptylujících částic. Jestliže rozměry částic nepřevyšují polovinu vlnové délky dopadajícího světla, je Rayleighův rozptyl nepřímo úměrný čtvrté mocnině vlnové délky. Čím je vlna delší, tím méně se rozptyluje. Proto se červené světlo rozptyluje méně než modré.

Rozptyl na částicích, které jsou dostatečně velké ve srovnání s vlnovou délkou, se již neřídí Rayleighovým zákonem nepřímé úměrnosti čtvrté mocniny vlnové délky dopadajícího světla. Na takových částicích se všechny paprsky spektra rozptylují stejně. Proto světlo rozptýlené na velkých částicích je bílé. Takové jsou částice, kapičky, které tvoří oblaka a mlhu, to je důvod, proč jsou oblaka bílá.

Čím více velkých částic je ve vzduchu, tím sytější je barva oblohy. U obzoru, tj. ve spodních vrstvách atmosféry, kde je více prachu, zejména hrubozrnného prachu, než ve vyšších vrstvách, zdá se obloha bledší a méně modrá. Různé rozptylové vlastnosti atmosféry lze vyjádřit veličinou průzračnost vzduchu.

Oblaka hrají rozhodující úlohu při rozdělování slunečních paprsků po zemském povrchu. Mohou zadržet část přímých paprsků na dráze k zemskému povrchu, mohou jej i pohltnout. Při setkání s oblaky se přímé paprsky tříští o vodní kapky a rozptylují se na

všechny strany. Část se jich při tom odráží zpět do vesmírného prostoru a část jich v podobě rozptýleného difúzního záření dopadne na zem.

Oblaka tvoří drobné kapky vody nebo krystalky ledu. Vysoká řasová oblaka jsou tvořeny hlavně krystalky ledu. Střední a nižší oblaka tvoří někdy vodní kapky a ledové krystalky, jindy led a sníh. Spodní vrstvy kupovitých a dešťových oblaků tvoří kapky a horní vrstvy, které jsou v chladnějším vzduchu, ledové krystalky.

Voda v oblacích má jednu podivuhodnou vlastnost. Nemrze ani při teplotách pod 0°C. Byly zjištěny případy, že vytrvalé drobné kapičky snesly -30°C mráz, aniž zmrzly. Takové kapky nazýváme přechlazenými.

Pevniny a ostrovy na Zemi zaujímají 29% celé plochy a na jižní polokouli pouze 19%. Vše ostatní je voda (moře, oceány). Velká část slunečních paprsků, které se dostaly až k Zemi, dopadne na vodní hladinu a pronikne do vody.

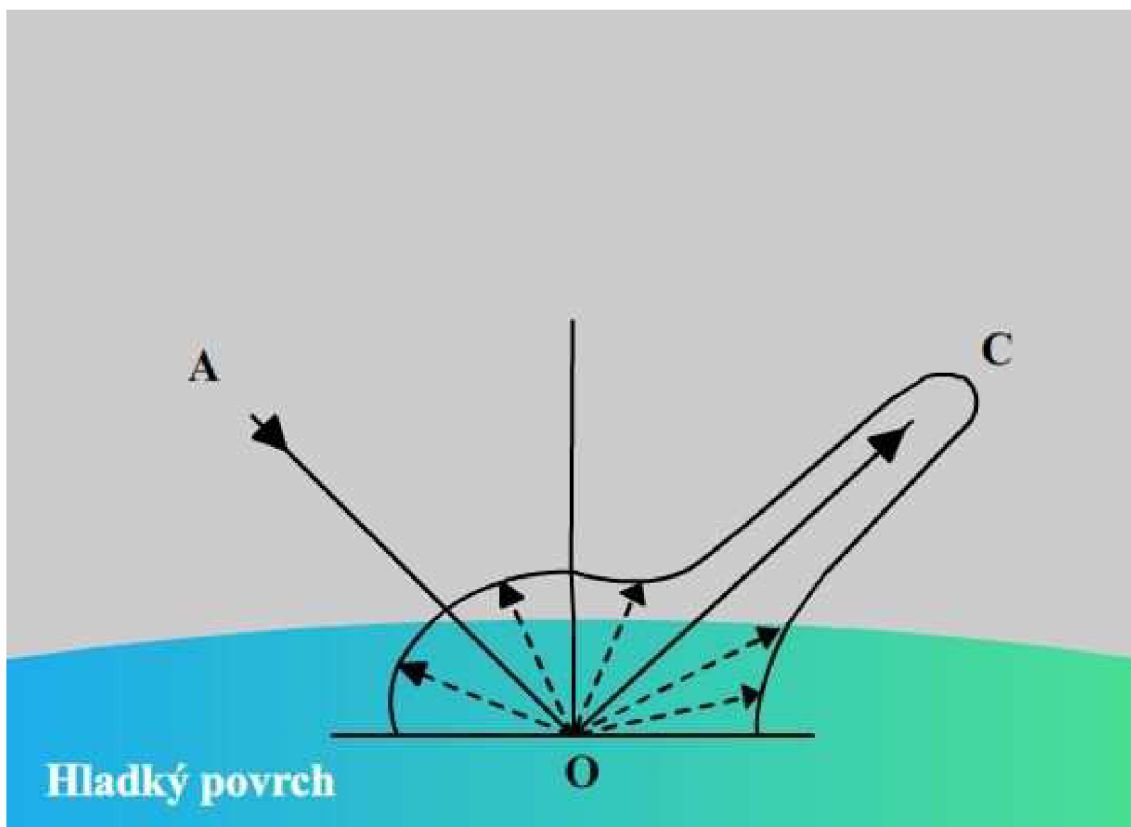
Polovina všeho slunečního záření, jež dopadlo do vody, je pohlcena první horní vrstvou vody, silou 10 centimetrů. Nejvíce je pohlcována dlouhovlnná část, tj. ta část, která vyvolává zahřívání. Už v hloubce jednoho centimetru je tepelný účinek paprsků téměř 94krát menší než na samém povrchu a v hloubce jednoho metru je prakticky roven nule. S hloubkou klesá nejenom množství dopadajícího záření, nýbrž ubývá také rozmanitosti jeho druhů. Do hloubky jednoho centimetru proniknou paprsky s vlnovými délkami od 0,2 μm do 1,4 μm , do hloubky jednoho metru proniknou pouze vlny od 0,2 μm do 0,9 μm , a v hloubce 100 metrů zbývá pouze slabá, s obou stran okleštěná část spektra od 0,35 μm do 0,60 μm .

Zářivá energie dopadající na Zemi se během dne mění nejen co do množství, ale také co do kvality. Zvláště měnivá je ultrafialová část spektra. S růstem výšky Slunce od 10°C do 30°C vzroste biologicky aktivní záření 50krát a při zvětšení výšky Slunce na 60°C se zvětší 200krát. Oblaka mohou snížit množství biologicky účinných paprsků nanejvýš na polovinu, a to pouze velmi hustá oblaka.

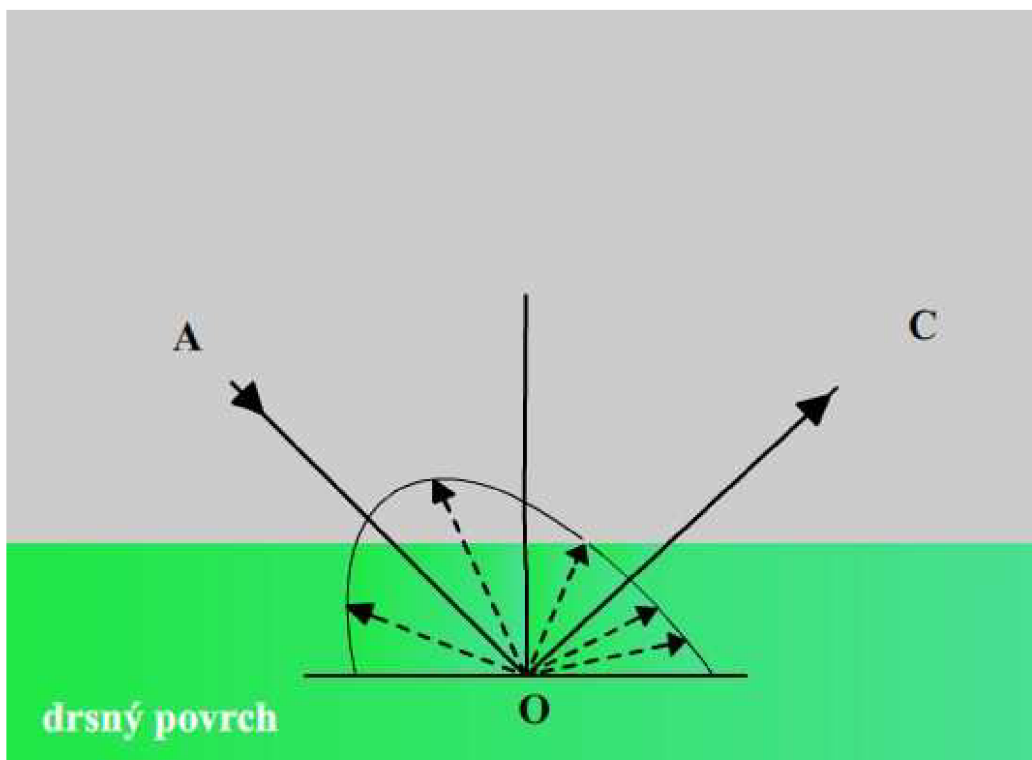
Závěrem této části lze říci, že i za bezoblačné oblohy téměř polovinu slunečních paprsků může „pohltnout“ vzduch, mraky spotřebují podobně velkou část, takže k povrchu na zemi přichází třeba pouze čtvrtina záření, které dopadlo na hranici atmosféry.

8. Odraz slunečních paprsků od povrchu Země

Podle zákona odrazu se světlo dopadající ve směru AO (obr. 20a,b) odrazí ve směru vyznačeném plnou šipkou OC. Při odrazu od povrchů, s nimiž se setkáváme v přírodě, se jednoduchý „školní“ zákon ukáže jako nepostačující. Odraz na zemském povrchu nastává tak, jak ukazují čárkované šípky na (obr. 20a,b), tj. světlo se odráží na všechny strany, ovšem v různých směrech různě.



Obr. 20a odraz na hladkém povrchu



Obr. 20b odraz na drsném povrchu

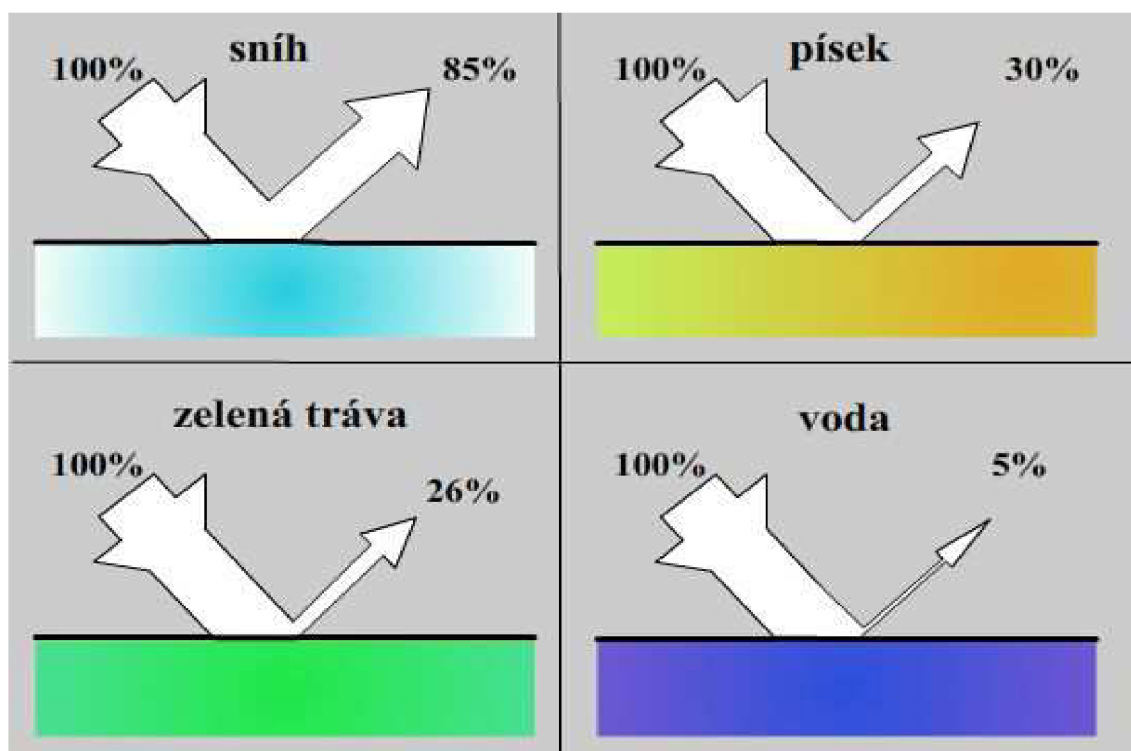
Rozdíl při odrazu na zemském povrchu spočívá v tom, že odražené světlo nejde pouze ve směru zrcadlového odrazu, ale také pod všemi jeho úhly. Takový odraz se nazývá difúzním, tj. rozptýleným. U hladkých povrchů se velká část odraženého světla soustřeďuje do směrů blízkých směru zrcadlového odrazu, u drsných naopak spíše do směru dopadajících paprsků.

Kvantitativně je odrazivost různých povrchů pro sluneční světlo charakterizována bezrozměrnou veličinou zvanou *albedo*. Albedo udává, kolik procent z dopadajícího proudu slunečního záření (obvykle se míní průměr podél viditelného spektra) odráží od povrchu. Na (obr. 21) vidíme, že albedo různých povrchů se výrazně liší. Číslce uvedené v obrázku vyjadřují průměrné hodnoty. Albedo souvisí s úhlem dopadu slunečních paprsků. Např. pro vodní hladinu lze ukázat, že když je slunce nízko, velká část paprsků se odráží, albedo vody je malé úhly skoro 100 %, naproti tomu při kolmém dopadu je albedo čisté vody asi 2 %.

Zvlášť velkou odrazivost má sníh. Albedo čerstvě napadaného sněhu je asi 82 %, albedo tajícího sněhu je nižší asi 60 % a slehlého dokonce 45 %.

Albedo půdy podstatně závisí na vlhkosti. Albedo půdy poklesne, zvýší-li se její vlhkost. U písku se například mění od 40 % při vlhkosti 0 % na albedo 18% při vlhkosti

30 %. Je to způsobeno tím, že vlhká půda je tmavější než suchá, takže více pohlcuje sluneční záření.



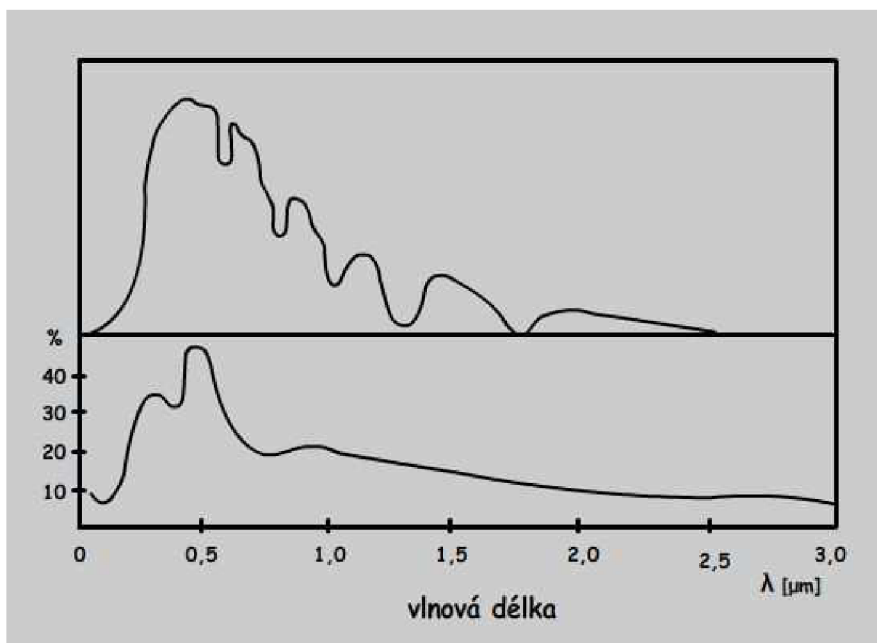
Obr. 21 odrazivost a pohltivost různých paprsků v přírodě

Výpočet albeda různých půd má význam pro zavlažované oblasti suchých území, protože na albedu závisí množství paprsků, které půda pohltí. Albedo mraků závisí na jejich tloušťce, je obvykle 60 % – 80%.

Průměrné albedo Země jakožto astronomického tělesa je 37 % – 40%, zatímco u Měsíce nedosahuje ani 10%. Je zajímavé srovnat albedo Země s albedem jiných planet. Ukazuje se, že planety lze podle velikost albeda rozdělit na dvě skupiny. Velké planety, které silně odrážejí světlo a malé, které mají albedo malé. Například albedo Jupitera je 63%, Saturnu a Uranu je také 63%, albedo Neptunu je dokonce 73%. Malý Merkur a Měsíc odrážejí asi 10% dopadajícího světla. Je to způsobeno tím, že velké planety jsou obklopeny obrovskými atmosférami a jejich albedo je hlavně albedem mraků v jejich atmosférách. Malé planety nemají atmosféru a jejich albedo je určováno odrazem na povrchu, který tvoří tmavé horniny.

Světlá kůže lidského těla odráží průměrně 35% dopadajícího světla. Avšak kůže se chová různě vůči paprskům různé barvy. Albedo ultrafialových paprsků kůže je přibližně 3%, v červené části spektra dosahuje 46% a v infračervené oblasti rychle klesá

na 6%. Spodní křivka na (obr. 22) znázorňuje albedo lidské kůže. Na první pohled vidíme, že tato křivka se podobá křivce rozdělení energie ve spektru Slunce, která je znázorněna nahoře. Za mnoho tisíciletí se lidská kůže přizpůsobila slunečnímu záření, takže více odráží paprsky, které na ni dopadají ve větším množství.



Obr. 22 albedo lidské kůže pro různé vlnové délky (dole), a křivka rozložení energie ve spektru Slunce (nahore)

Vše, co bylo dosud vyloženo, platí o odrazu krátkovlnného záření Slunce a oblohy. Pokud jde o dlouhovlnné a tepelné záření atmosféry, tam je situace podstatně odlišná.

Téměř všechny druhy povrchů odrážejí dlouhovlnné záření jen velmi slabě. Například čistý bílý sníh odráží dlouhovlnné záření stejně jako zelená tráva, a to asi 1,4%, vlhký písek asi 4% a rašelina asi 2 – 3%. Často se tak malý odraz zanedbává a počítá se, že dlouhovlnné záření dopadající na půdu se v ní pohlcuje úplně, tj. že se každý povrch chová vůči dlouhovlnnému záření stejně jako absolutně černé těleso.

9. Skleníkový jev

Kdyby Země Sluncem vyzařovanou energii pouze přijímala a žádnou nevydávala, musela by se už dávno rozžhavit na mnohem vyšší teplotu. Z toho, že se tak neděje, je zřejmé, že energie musí nejen přitékat, ale také odtékat. Tato bilance musí

být vyrovnaná, aby se soustava nacházela v dynamické rovnováze, kterou je možné charakterizovat globální teplotou. Existuje tedy odtok energie a to sálavým zářením samotné Země. Zemský povrch je mnohem chladnější než sluneční (287 K versus 5780K), pak podle Wienova posunovacího zákona musí Země vyzařovat svou tepelnou energii na mnohem delších vlnových délkách.

Dopadající sluneční záření patří hlavně do viditelné oblasti, největší intenzitu má kolem vlnové délky 0,5 μm . Země, prohřívána tímto zářením, zpětně vyzařuje v infračervené oblasti s maximem kolem 10 μm než Slunce. Kdyby Země nebyla obalena atmosférou, dlouhovlnné záření by letělo přímo ke hvězdám.

Zatímco atmosféra je téměř průhledná pro viditelné a krátké infračervené vlnové délky, pro infračervené záření kolem 10 mikrometrů se uplatní absorpce tohoto záření v molekulových spektrech skleníkových plynů. Atmosféra absorbuje 71 % povrchového tepelného záření Země dříve, než může uniknout do prostoru. Toto záření pak atmosféra a mraky emituje také zpětně na povrch. Atmosféra a mraky získávají tuto energii z pohlceného tepelného záření z povrchu, z přímo absorbované sluneční energie i z latentního tepla z kondenzace vodních par.

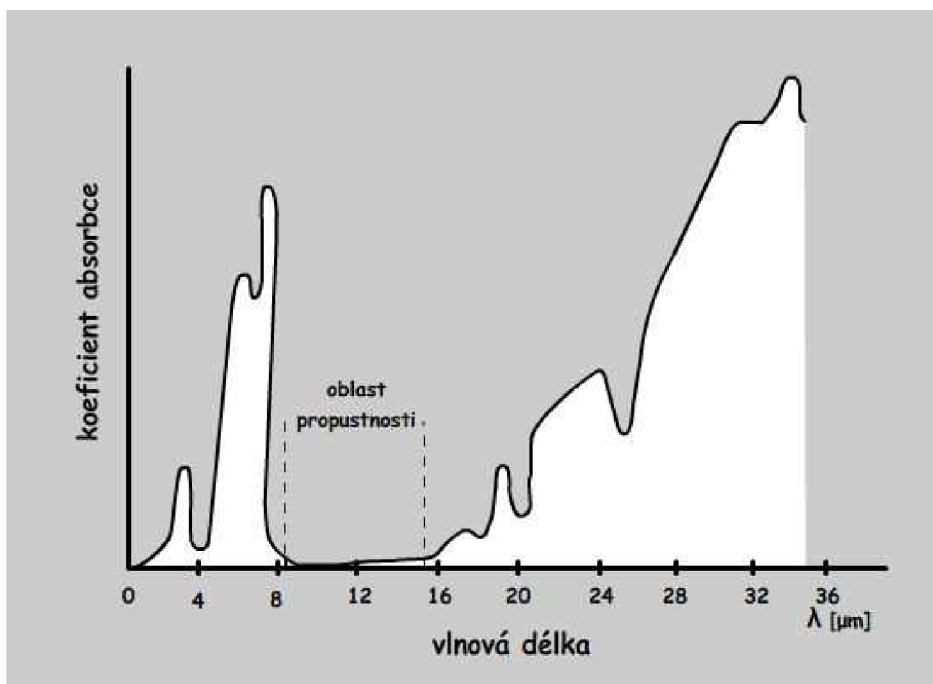
Tím, že atmosféra tak dobře absorbuje dlouhovlnné infračervené záření, účinně vytváří jednocestnou příkrývku nad zemským povrchem. Viditelné a téměř viditelné záření ze Slunce se snadno dostává skrz, ale tepelné záření z povrchu se obtížně dostává ven. Energie záření vyzařovaného povrchem se rychle zvyšuje s teplotou podle Stefan-Boltzmannova zákona, dokud nevykompenzuje pohlcování atmosférou a neustálí se dynamická rovnováha.

Jakákoliv změna ve složení zemské atmosféry, která brání nebo podpoří přenos dlouhovlnného infračerveného záření, naruší tuto rovnováhu a zemský povrch se bude zahřívat nebo ochlazovat, dokud se nedosáhne nové dynamické rovnováhy. Následkem tohoto tzv. skleníkového efektu jsou průměrné teploty povrchu značně vyšší, než by byly, kdyby byla teplota zemského povrchu určena pouze zemským albedem a vlastnostmi povrchu jakožto absolutně černého tělesa.

Část tepla, které vyzařuje půda, pohlcují plyny atmosféry a vyzařují je zpět na zemský povrch. Tento zpětný proud se nazývá protizářením atmosféry. Rozdíl mezi vyzařováním zemského povrchu a protizářením atmosféry se nazývá efektivním zářením zemského povrchu.

Hlavní úlohu při pohlcování zemského záření atmosférou hraje vodní pára. Na (obr. 23) je znázorněna absorpční křivka dlouhovlnného záření Země ve vodních parách.

Vidíme, že vodní pára nepohlcuje všechny paprsky stejně. Některé pohlcuje více, jiné daleko méně. První absorpční pás připadá na vlnovou délku 2,5 μm , druhý sahá od 4 μm do 8,5 μm . Potom následuje oblast slabého pohlcování, avšak počínaje patnácti mikrony, pohlcování směrem k velkým vlnovým délkám rychle stoupá. Prakticky můžeme počítat, že s výjimkou pásu slabého pohlcování mezi 8,5 až 15 μm je vodní pára obsažená v atmosféře pro tepelné záření neprůzračná, tj. skoro úplně je pohlcuje.



Obr. 23 křivka udávající pohlcování tepelného záření vodními parami

Neviditelná vodní pára propouští téměř všechno krátkovlnné záření Slunce dopadající na Zemi, avšak dlouhovlnné záření, které vysílá zemský povrch, zadržuje skoro úplně. Podobně se chovají i tzv. skleníkové plyny CO_2 , NO_2 , CH_4 .

Maximum zemského záření, které připadá na vlnové délky kolem 10 μm , spadá právě do průzračné oblasti vodní páry (od 8,5 μm do 15 μm), takže podstatná část zemského záření unikne tímto „oknem“ atmosféry do vesmírného prostoru.

Kdyby bylo možné napustit do atmosféry dostatečné množství nějakého, ovšem lidskému životu neškodného plynu, které by silně pohlcovalo záření v oblasti „okna“, podnebí na zeměkouli by se tím podstatně změnilo. Kdyby se například množství kysličníku uhličitého ve vzduchu zdvojnásobilo, zvýšila by se průměrná teplota celé zeměkoule o více než 4°C.

Podle zákona záření vydávají všechna tělesa nejintenzivnější záření právě v těch oblastech spektra, v nichž samy záření nejvíce pohlcují. Proto atmosférické protizáření, směřující k Zemi, připadá na tytéž části spektra, v nichž je největší pohlcování atmosféry, tj. na 2,5 μm , mezi 4 μm a 8,5 μm a nad 15 μm .

Pohlcováním zemského záření skleníkovými plyny, které absorbují zčásti i rámci toho výše zmíněného okna, se zvyšuje protizáření atmosféry. Vzduch tvoří různé plyny, avšak pouze skleníkové plyny jsou s to pohlcovat a přiměřeně vyzařovat dlouhovlnné záření. Tato jejich schopnost souvisí se zvláštní strukturou molekul. Molekula skleníkového plynu je má rotační spektrum v dalekém infračervený oboru, vibrační spektra právě v dotčené oblasti a elektronová spektra ve viditelný nebo UV oboru. Pohlcování tepelného záření Země a vysílání vlastního záření atmosféry se děje hlavně na účet vibračních a kombinovaných rotačně-vibračních energetických přechodů elektronů v molekulách atmosférických plynů, především v molekulách vodní páry. Vzbuzená molekula plynu, která pohltila příslušné kvantum zářivé energie, jej samovolně vyzáří a vrací se do původního stavu. Při tom se plyn vůbec nezahřeje. Rozptýlí se pouze záření, neboť ono druhotné (sekundární) kvantum, vyzářené molekulou, vyletí různými směry.

I mraky, které mají velký vliv na průchod slunečního záření atmosférou, zasahují rovněž do záření Země. Na cestě atmosférou je mraky pohlcují a samy vyzařují, část ven a část zpět k Zemi. Záření mraků je tím větší, čím vyšší je jejich vlastní teplota. V troposféře klesá teplota o 6°C s každým kilometrem výšky. Proto čím je vrstva mraků níže, tím je teplejší. To je také důvod, proč hlavní úlohu v protizáření hrají nízké kupovité mraky, neboť ty mají vyšší teplotu než oblaka horních a středních pásem.

Účinek mraků závisí na jejich druhu, a také na tom, jakou část oblohy pokrývají. Oblačnost se vyznačuje ve stupních. Při desetistupňové (spojitá) oblačnosti mraky vysokého pásma zeslabují elektivní záření o 20%, mraky středního pásma o 60% a nízkého o 85%. Všechny druhy mraků zeslabují záření průměrně o 75%.

Stejně jako mraky i mlha a kouř zmenšují záření zemského povrchu, a brání jejímu ochlazování. Částice kouře a mlhy odrážení tepelné záření Země zpět a samy vyzařují teplo na Zemi.

10. Bilance záření

V předchozím textu jsme konstatovali, že Země paprsky nejenom přijímá, ale také odráží a sama vyzařuje. Jaký je poměr mezi přítokem a odtokem paprsků? Jaká je a jak vypadá celková bilance záření?

Z termodynamických úvah je zřejmé, že pro Zemi jako celek, tj. jako astronomické těleso, musí být tato bilance rovna nule. Záření je jediný způsob výměny energie s jinými vesmírnými tělesy. Kdyby bilance pro celou Zemi byla kladná, musela by se neustále zahřívat. Kdyby byla záporná, musela by chladnout. Jelikož nepozorujeme jedno ani druhé, je tato bilance vyrovnaná.

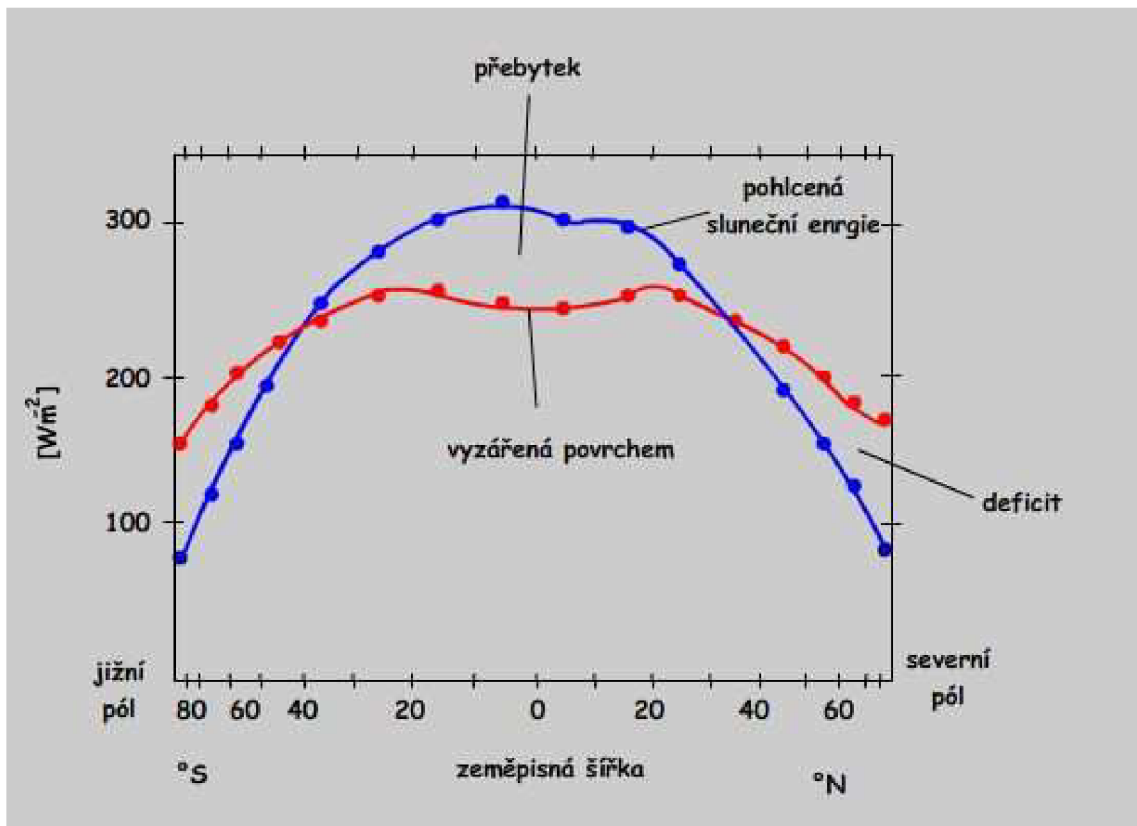
Ovšem to, co platí pro zeměkouli, nemusí platit pro jednotlivé části zemského povrchu. Zde už nemusí nezbytně být dokonalá rovnováha záření, neboť teplo, kterého se nedostává ve formě záření, může být dodáno jinými způsoby, přenosem tepla vzduchem, mořskými proudy atd.

Sluneční záření a záření zemského povrchu, vítr, mořské proudy a řeky, vypařování, srážky a sněhová pokrývka, to vše navzájem souvisí. Všechny tyto úkazy je třeba vnímat souborně a dívat se na ně jako na různé stránky jednoho celku. Je nezbytné sledovat mechanismus, který určuje podnebí daného místa a neomezovat se na formální sbírání různých statistických údajů o průměrných hodnotách teploty, vlhkosti a tlaku.

K určení souborné tepelné bilance v některém bodě na zemském povrchu nestačí poznat jen bilanci zářivé energie, ale je třeba zjistit také, kolik tepla přechází z půdy do vzduchu, kolik ho přejde z povrchu půdy do hlubších vrstev a kolik tepla se spotřebuje na vypařování vody.

Přítok a odtok zářivé energie se během dne mění. Ve dne přibližně do poledne rychle vzrůstá a potom klesá. V noci může být odtok zářivé energie větší než přítok následkem protizáření atmosféry, takže bilance je záporná. Také během ročních období se bilance záření mění, v létě je kladná, v zimě ve vyšších zeměpisných šířkách záporná. Na severu se udržuje záporná bilance delší dobu než na jihu, jižně od 400 severní šířky je již bilance zářivého tepla kladná po celý rok. Rovníkové oblasti mají kladnou bilanci největší. Obrázek 24 ukazuje, jak se mění distribuce přicházejícího solárního krátkovlnného záření a odcházejícího pozemského dlouhovlnného záření se zeměpisnou šířkou. Tropické oblasti mají bilanci kladnou, opačně póly zápornou. To by mohlo vypadat jako, že tropy jsou konstantně prohřívány, kdežto póly ochlazovány, ale tomu

tak není. Země kontinuálně „pumpuje“ teplo z tropů k pólům díky cirkulaci vzdušných a vodních hmot.



Obr. 24 distribuce slunečního a pozemského záření v závislosti na zeměpisné poloze

K určení souborné tepelné bilance v určitém místě na zemském povrchu je třeba kromě bilance zářivé energie zjistit, kolik tepla přichází z půdy do vzduchu, kolik ho přejde z povrchové vrstvy do hlubších míst, kolik tepla se spotřebuje na vypařování vody. Ve dne dostává půda mnoho zářivé energie od Slunce. Suchá půda vydává nejvíce tepla na výměnu tepla se vzduchem. V odpoledních hodinách, kdy je půda nejvíc zahřátá, přechází do vzduchu 50 % – 60% dopadajícího zářivého tepla. Do hlubších vrstev půdy proniká 20% – 30% a na vypařování se spotřebuje asi 20%. Naproti tomu ve vlhké půdě spotřebuje se nejvíce tepla na skupenskou přeměnu - vypařování.

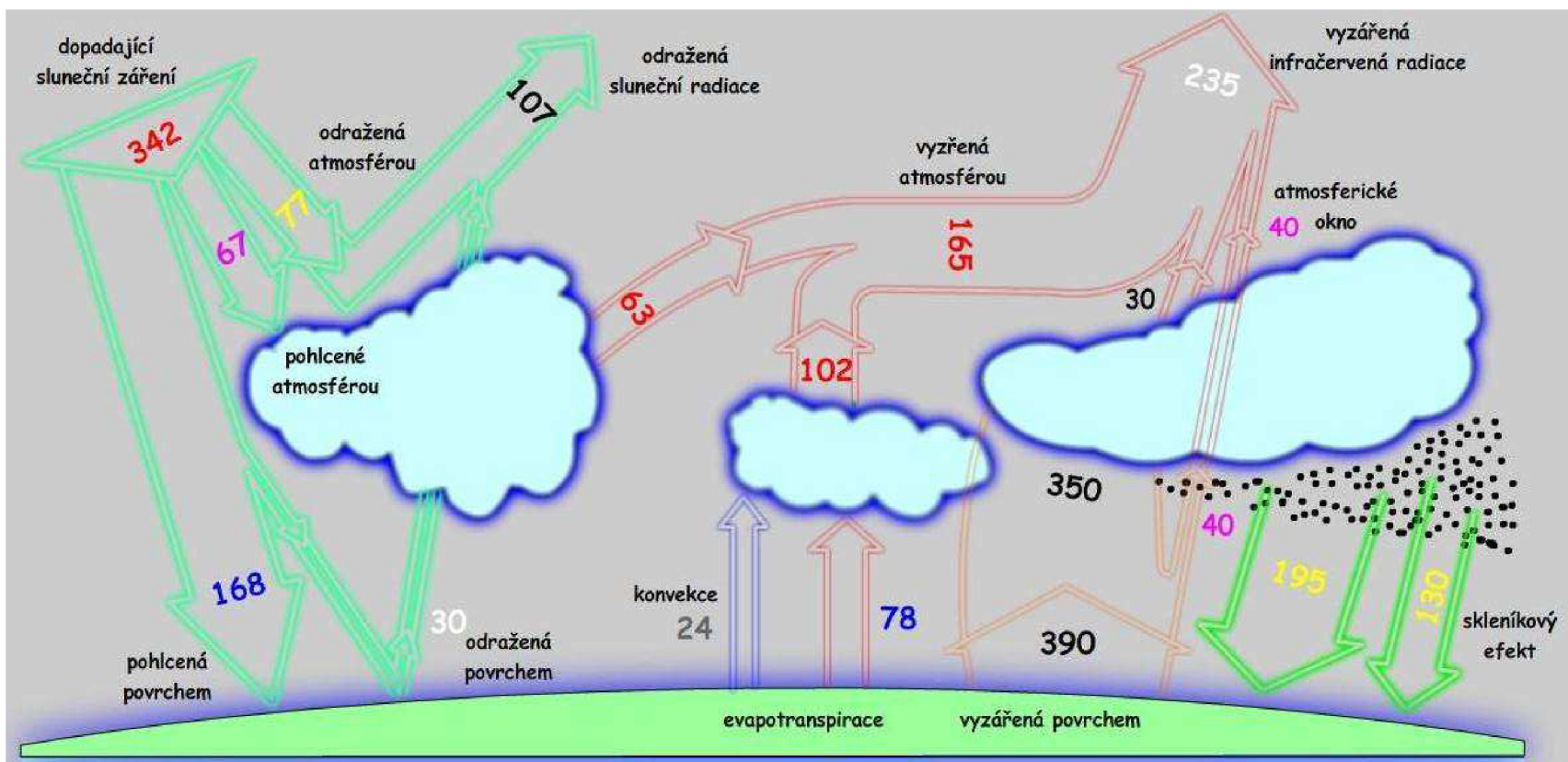
V noci se situace mění, bilance zářivé energie je záporná, půda vysílá tepelné záření, které „oknem“ ve spektru vodní páry uniká do meziplanetárního prostoru. Teplota chladnoucí půdy poklesne často pod teplotu vzduchu, takže se utvoří teplotní inverze, tj. obvykle pokles teploty se s výškou převrátí. Proto teplo přechází ze vzduchu do povrchových vrstev půdy.

Atmosféra získává kromě 14%, které pohltila v podobě přímých slunečních paprsků, ještě 5,6% zahříváním od zemského povrchu a 18,4%, které se uvolní při zkapalňování vodní páry. Na atmosféru tak připadá celkem 38%. Vše, co dostává (celých 38%), uniká tepelným zářením do meziplanetárního prostoru. Spolu s efektivním zářením zemského povrchu (20%) se celkové záření rovná 58%, tj. odpovídá přesně tomu množství tepla, které Země dostává od Slunce. Rozdíl je pouze v tom, že přijímá krátkovlnné záření a vysílá dlouhovlnné záření.

	Přítok		Odtok	
		%		%
Atmosféra	sluneční záření	14	tepelné záření	38
	zahřívání od zemského povrchu	5,6		
	přeměna vodní páry ve vodu	18,4		
	úhrnem	38	úhrnem	38
zemský povrch	sluneční záření	44	efektivní záření	20
			zahřívání vzduchu	5,6
			vypařování vody	18,4
	úhrnem	44	úhrnem	44
Země jako celek	sluneční záření	58	tepelné záření atmosféry	38
			ef. záření zemského povrchu	20
	úhrnem (krátkovlnné sluneční záření)	58	úhrnem (dlouhovlnné tepelné záření)	58

tab. 1 tepelná rovnováha v číslech

Obř: 26 schéma zemského zářeni, čísla uvádějí zářeni v Wm^{-2}



Z dopadajícího slunečního záření je 49% ($168 \div 342$) absorbováno zemským povrchem. Záření je vráceno do atmosféry v různých formách (např. proces vypařování, teplotní záření).

Většina z těchto zpětných záření je absorbována v atmosféře, která jej pak vysílá nahoru i dolů. Nějaká část se ztratí v prostředí a něco zůstane v klimatickém systému země. To je to co řídí skleníkový efekt [obrázek přizpůsobený z Kiehl & Trenberth, 1997]

K obrázku (Obr. 26): Sluneční příkon, který Země pohlcuje je průměrně 235 Wm^{-2} jejího povrchu. Ze Země do vesmíru odcházelo v dříve také 235 Wm^{-2} , teploty se neměnily, během posledních tisíciletí se teplota Země měnila jen málo, dnes ale uniká do vesmíru 1,6% méně jen 232 Wm^{-2} vlivem pozmeněného složení ovzduší.

Z předloženého textu, obrázků a schémat plyne, že úroveň skleníkového efektu a jeho vlivu na tzv. globální teplotu povrchu země bude záviset primárně na koncentraci skleníkových plynů v atmosféře.

Atmosféra Země umožňuje díky přirozenému skleníkovému jevu příznivé podmínky pro život. V případě zvýšení množství skleníkových plynů by teplota stoupla, pokud by tento nárůst byl prudký, stálo by lidstvo před problémem, jak se novým podmínkám rychle adaptovat.

Na Zemi existuje hydrosféra a biosféra pohlcující oxid uhličitý, přítomnost tekuté vody limituje zvyšování skleníkového efektu negativní zpětnou vazbou, otázkou je, zda je při rychlém nárůstu skleníkových plynů oceán schopen dostatečně rychle vychytat oxid uhličitý při zároveň zvyšující se teplotě. Podobných zpětnovazebních procesů kladných i záporných lze najít celou řadu.

Předvídaní modelů klimatických změn v souvislosti s nárůstem skleníkových plynů je ovšem nesmírně komplexní a provázaná úloha. Je třeba zachytit interakce s dalšími procesy vytvářejícími kladné i záporné zpětnovazební cykly.

Závěr

Práce přináší souhrn grafických zobrazení k prvotnímu náhledu východisek pro studium dějů v atmosféře. Na základě základních kvantitativních východisek a řady kvalitativních úvah lze odhadnout rozsah možností působení člověka na klima, klimatické změny. Mnohé procesy probíhající v atmosféře lze uchopit jako specifický fyzikální problém či doklad platnosti obecných fyzikálních zákonů.

Přílohou práce jsou 4 pracovní listy pro základní školu, které jsou využitelné ve výuce fyziky, zeměpisu a environmentálně zaměřených předmětech.

Literatura:

Šifrinová, J.M.: Slunce zdroj přírodní energie, NV Praha 1955

Acot, Pascal: Historie a změny klimatu, Karolinum, 2006

<http://climateprediction.net> leden 2008

Vysoudil Miroslav: Meteorologie a klimatologie, učební text, UP Olomouc, 2006

http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavní_strana

Seznam obrázků

Obr. 1 osvětlení Země Sluncem.....	9
Obr. 2 lom paprsků a vznik spektra v hranolu.....	11
Obr. 3 lom paprsků a vznik spektra ve vodních kapkách.....	12
Obr. 4 schéma školního spektrometru.....	14
Obr. 5 školní spektrometr.....	15
Obr. 6 spojité spektrum.....	15
Obr. 7 čárové spektrum vodíku.....	15
Obr. 8 čárové spektrum uhlíku.....	16
Obr. 9 čárové spektrum síry.....	16
Obr. 10 čárové spektrum sodíku.....	16
Obr. 11 absolutně černé těleso.....	17
Obr. 12 rozložení energie ve spektru černého tělesa.....	19
Obr. 13 spektrum černého tělesa – rozložení energie ve spektru černého tělesa při absolutní teplotě 6000°K.....	20
Obr. 14 spektrum černého tělesa – rozložení energie ve spektru černého tělesa při teplotě 300°K, 250°K, 200°K.....	21
Obr. 15 záření černého tělesa při 6000°K a záření Slunce mimo atmosféru.....	22
Obr. 16 závislost mezi výškou Slunce nad obzorem a délkou dráhy slunečního paprsku v atmosféře (hmotou atmosféry).....	24
Obr. 17 atmosféra.....	27
Obr. 18 spektrum slunečního záření na hranici atmosféry a po průchodu vodními parami	28
Obr. 19 spektrum slunečního záření mimo atmosféru, po průchodu atmosférou...29	
Obr. 20a,b odraz na hladkém, drsném povrchu.....	32/33

Obr. 21 odrazivost a pohltivost různých paprsků v přírodě.....	34
Obr. 22 albedo lidské kůže pro různé vlnové délky (dole), a křivka rozložení energie ve spektru Slunce (nahore).....	35
Obr. 23 křivka udávající pohlcování tepelného záření vodními parami.....	37
Obr. 24 distribuce slunečního a pozemského záření v závislosti na zeměpisné poloze.....	40
Obr. 25 tepelná rovnováha Země.....	41
Obr. 26 schéma zemského záření, čísla uvádějí energii záření v W/m^2	43

Seznam příloh (pracovních listů)

Příloha 1. Složení atmosféry.....	50
Příloha 2. Ozónová vrstva Země.....	56
Příloha 3. Změny klimatu.....	58
Příloha 4. Pasivní využití solární energie.....	62

Složení atmosféry

- Atmosféra je plynný obal Země, který je k Zemi připoután gravitační silou, ta nám zaručuje, že plyny neuniknou do okolního vesmírného okolí.
- Název atmosféra je odvozen od řeckého slova atmos = pára.

Aktivita:

- ❖ K čemu slouží atmosféra

.....

.....

.....

.....

Chemické složení atmosféry

- *Dusík* – netečný plyn, do atmosféry se dostává při vulkanické činnosti a při spalování fosilních paliv především v automobilové dopravě (oxid dusíku).
- *Kyslík* – nezbytný pro dýchání a hoření, zdrojem jsou procesy fotosyntézy.
- *Vzácné plyny* – především argon.
- *Vodní pára* - podílí se na vzniku oblačnosti a srážek, je nejdůležitějším skleníkovým plynem.

- *Oxid uhličitý* – vzniká při hoření, sopečné činnosti, dýchání, patří mezi skleníkové plyny, množství v atmosféře se zvyšuje v důsledku spalování fosilních paliv.
- *Atmosférické aerosoly* – např. vodní kapičky, ledové krystalky, kosmický, vulkanický a půdní prach, pyl, saze. Jejich množství se zvyšuje, podílejí se na ochlazování zemského povrchu (tj. omezují množství slunečního záření, které pronikne na zemský povrch).

Aktivita:

- ❖ Doplň do tabulky, procentuální chemické složení atmosféry

Složení atmosféry	%
<i>Dusík</i>	
<i>Kyslík</i>	
<i>Vzácné plyny</i>	
<i>Vodní pára</i>	
<i>Oxid uhličitý</i>	

- ❖ Vysvětli proces fotosyntézy

.....

.....

.....

.....

Vertikální dělení atmosféry

Atmosféra se dělí ve vertikálním směru na pět soustředných částí (sfér), které se od sebe liší různými fyzikálními vlastnostmi.

- *Troposféra* – Nejnižší vrstva atmosféry. Charakteristickým znakem troposféry je, že zde klesá teplota o $0,65^{\circ}\text{C}$ na 100 metrů. Teplota na hranici troposféry se pohybuje kolem -45°C až -70°C . Dále se vyznačuje poklesem tlaku a hustoty s rostoucí nadmořskou výškou. Obsahuje většinu hmotnosti atmosféry, většinu vodní páry. V troposféře se odehrává většina meteorologických jevů a procesů (vítr, počasí, oblačnost, déšť...). Troposféra je nejvíce lidmi využívaná část atmosféry.
- *Stratosféra* – Teplota ve spodní části stratosféry se pohybuje kolem -45°C až -75°C . Stratosféra je důležitou částí atmosféry, protože obsahuje ozón, který absorbuje velké množství ultrafialového záření dopadající na Zemi. Největší koncentrace ozónu je ve výškách 25 – 35 kilometrů (ozonosféra). Kdyby neexistovala ozonosféra, ultrafialové paprsky by zničily veškerý život na povrchu, docházelo by k různým mutacím DNA a vzniku rakoviny. Dnešní ozonosféra je však velice narušena vlivem činnosti člověka, který jí ničí vypouštěním freonů.
- *Mezosféra* – Teplota se zde pohybuje okolo -100°C . Atmosféra je již poměrně řídká. Výskyt nočních stříbrných oblaků.
- *Termosféra* - Teplota se zde mění v závislosti na výšce. Mezi 200 až 300 kilometry roste teplota vzduchu na několik set stupňů celsia. Protože vzduch je v těchto výškách velmi řídký, nelze jeho teplotu měřit běžnými teploměry, ale určuje se na základě kinetické energie pohybu jednotlivých molekul. Z tohoto důvodu mluvíme o tzv. kinetické teplotě. Na přelomu mezi mezosférou a

termosférou dochází k ionizaci plynů. Tato oblast, která se nazývá ionosféra, totiž umožňuje šíření radiových vln, které nám umožňují například poslech rádia, sledování televize, vznikají tu polární záře.... Působením slunečního záření dochází ke vzniku elektricky nabitých částic (iontů).

- *Exosféra* - Jedná se o okrajovou vrstvu atmosféry. V této oblasti se nacházejí převážně volné atomy vodíku a helia, na které již nepůsobí takovou silou gravitace, což má za následek to, že tyto částice mohou uniknout do okolního volného prostoru.

Aktivita:

- ❖ Doplň do tabulky, do jakých výšek sahají jednotlivé vrstvy zemské atmosféry:

Vrstva atmosféry	od - do (km)
<i>Troposféra</i>	
<i>Stratosféra</i>	
<i>Mezosféra</i>	
<i>Termosféra</i>	
<i>Exosféra</i>	

❖ Doplň do obrázku jednotlivé názvy vrstev atmosféry.



Počasí a podnebí

- *Počasí* - okamžitý stav atmosféry v daném místě. Lze popsat meteorologickými prvky (teplota, tlak, srážky, ...) a meteorologickými jevy (mlha, bouřka, duha, ...). Počasí studuje meteorologie.
- *Podnebí* – dlouhodobý režim počasí v daném místě. Charakter podnebí určován klimaticko-geografickými činiteli (zeměpisná šířka, nadmořská výška, ...). Podnebí studuje klimatologie.

Aktivita:

- ❖ Najdi údaje o aktuálním počasí ve vybraných městech světa a vyplň tabulku.

Město	Teplota	Vlhkost	Vítr	Tlak	Oblačnost
Brno					
Káhira					
Tokio					
Sydney					
Las Angeles					

(<http://www.wunderground.com>)

Ozonová vrstva Země

- Ozonová vrstva, také zvaná ozónosféra je ve výšce 25-30 km nad zemí.
- Ozonová vrstva chrání pozemské organismy před smrtícím účinkem ultrafialového záření. Díky této ochraně se k povrchu Země dostává asi pouze 1% ultrafialového záření přicházejícího ze slunce.
- Toto záření ničí mikroorganismy, ale ve větších dávkách je toto záření životu nebezpečné. Například brzdí růst vysokohorských rostlin, ničí drobné vodní organismy (plankton), které jsou potravou ryb. Působí zhoubně na tkáň živočichů i člověka.
- Ozonovou vrstvu v atmosféře v současné době porušují, kromě nadzvukových letadel, které ji poškozují svými výfukovými plyny, hlavně chemické látky zvané freony.
- Ačkoliv za posledních 10 let snížily vyspělé země produkci látek poškozujících ozonovou vrstvu Země o téměř sto procent, ještě několik desítek let se budou freony (chlorované a fluorované uhlovodíky) uvolňovat z dosud existujících zařízení. Ozonová vrstva tvoří sice pouhou milióntinu zemské atmosféry, k udržení života na Zemi je však nepostradatelná.
- Za hlavní ničitele ozónu, jsou považovány freony (deriváty fluoru, chloru a uhlíku) a herbicidy. Tyto látky se v atmosféře pod vlivem slunečního záření štěpí na jednotlivé atomy chlóru, které ochotně reagují s atomy ozónu a následně se štěpí zpět na samostatný chlór. Schopností ničit ozón disponuje rovněž bróm, jehož zdrojem mohou být mořské soli. Podstatně zvýšený obsah bromoxidu v ovzduší, při současném snížení obsahu ozónu, zaznamenali vědci například nad Mrtvým mořem.

Aktivita

❖ Co je to ozon? Kde se vyskytuje?

.....
.....
.....
.....

❖ Je ultrafialové záření jen nebezpečné? Nebo může být i prospěšné? Když ano v čem?

.....
.....
.....
.....

❖ Co jsou to freony a k čemu slouží?

.....
.....
.....
.....

❖ Jak zabránit výrobě freonů?

.....
.....
.....
.....

Změny klimatu

- V dlouhodobém měřítku se klima Země neustále mění, dochází ke střídání teplejších a chladnějších období.

Astronomické vlivy na zemské klima

- *Změna sklonu zemské rotační osy* – mění se v rozmezí od $21,5^\circ$ do $24,5^\circ$ v periodě 41 000 let
- *Změna tvaru zemské dráhy* – v periodě asi 92 000let se mění excentricita (vzdálenost Slunce od středu elipsy) oběžné dráhy Země kolem Slunce.
- *Pohyb zemské osy* – je způsoben přitažlivostí Slunce, Měsíce a planet vzhledem k Zemi, osa rotace dnes směřuje k Polárce. Zemská osa opisuje kužel s vrcholem ve středu Země s periodou 26 000let. Důsledkem toho je, že se mění doba mezi jarní a podzimní rovnodenností.

Aktivita:

- ❖ Jaké různé klimatické pásy na Zemi rozlišujeme?

.....

.....

.....

.....

Další vlivy na změny klimatu

- Chemické změny atmosféry
- Změna cirkulace mořských proudů
- Vulkanická činnost
- Změna intenzity sluneční činnosti
- Změna rozsahu a vzájemné polohy pevnin

Aktivita:

- ❖ Jak se změní klima na Zemi při vulkanické činnosti?

.....

.....

.....

.....

Skleníkový efekt

- Je proces, při kterém atmosféra způsobuje ohřívání planety tím, že absorbuje dopadající sluneční záření a zároveň brání jeho zpětnému odrazu do prostoru. Mars, Venuše a ostatní planety s atmosférou také vykazují skleníkový efekt.
- Atmosféra obsahuje skleníkové plyny
- Skleníkové plyny propouští k Zemi sluneční záření, ale pohlcují většinu tepla vyzářeného zemským povrchem, dochází k ohřívání zemského povrchu.

Aktivita:

- ❖ Vypiš, jaké znáš skleníkové plyny?

.....

.....

.....

.....

Budoucnost

- Důsledkem globálního oteplování budou růst hladiny oceánů (způsobeno táním ledovců,), a zvýší se počet povodní a extrémního sucha.
- V důsledcích růstu skleníkových plynů se odhaduje, že se zvýší průměrná roční teplota o 1,5°C – 6°C.

Aktivita:

- ❖ Doplň tabulku pomocí klimogramů jednotlivých měst.

Město	Nadmořská výška	Nejteplejší měsíc	Průměrná teplota	Nejdeštivější měsíc	Průměrný úhrn srážek
Brno					
Palma de Mallorca					
Oslo					
Porto					
Istanbul					

(<http://www.klimadiagramme.de>)

Pasivní využití solární energie

Všechna tělesa sálají (vyzařují) teplo, přičemž objem vyzářeného tepla závisí na jejich povrchu a teplotě. Čím větší je povrch nebo teplota, tím větší je objem vyzářeného tepla. Při velmi vysokých teplotách se sálání stává viditelným, například ve formě žhavicího vlákna žárovky, nebo v podobě Slunce.

Teplo přichází z teplejšího tělesa na studenější - vedením, prouděním a sáláním.

Aktivita:

Kdy je to právě vedení, proudění, sálání?

.....
.....
.....
.....
.....

Objem tepla pohlceného nebo odraženého tělesem závisí na intenzitě sálání a na barvě tělesa.

..... tělesa jsou nejlepšími pohlcovači tepla, zatímco tělesa jsou nejlepšími odrážeci.

(do věty doplň barvy)

Všechna tělesa vedou teplo z nejteplejších částí do částí nejstudenějších, ale velmi různými rychlostmi, která závisí na teplotním rozdílu a na schopnosti materiálu těchto těles vést teplo. Čím větší je teplotní rozdíl, tím větší bude tepelný tok.

Při okolní teplotě 20°C nám těleso s nízkou tepelnou vodivostí bude připadat teplé, například vlna nebo korek, ale tělesa s vysokou tepelnou vodivostí nám budou připadat studená, například kovy.

Sluneční skleníkový efekt, je založen na podobných principech. Povrch Země je schopen část výkonu slunečního světla pohltit, toto pohlcené teplo je později vyzářeno a pohlceno dolní částí atmosféry, kde se shromažďují skleníkové plyny.

Tepelná setrvačnost představuje odpor tělesa vůči změně teploty, když se okolní teplota změní. Čím větší je hmotnost tělesa, tím větší je tepelná setrvačnost. Budovy s nízkou setrvačností se rychle zahřejí slunečním světlem, ale v noci také rychle vychladnou. Vysoká setrvačnost budov naopak zajišťuje stálejší teploty.

Solární záření dosahuje zemského povrchu pod různými úhly, v závislosti na orientaci povrchu a kolik energie ze slunečního záření bude zachyceno nebo odraženo povrchem. Maximální hodnoty dosáhneme, když sluneční záření dopadá kolmo k Zemi. Když je záření rovnoběžné se zemí, nedochází k pohlcování žádného záření ani k jeho odrazu.

Pohlcování a odraz světla

Barvy mají základní úlohu v pohlcování a vyzařování slunečního tepla, stejně jako slunečního světla. Zaměříme se tedy na účinek barev.

Co budeme potřebovat:

1. Tři stejné ploché kusy kovu (hliník, nerezová ocel...)
2. Barvy (černou, bílou)
3. Dřevěnou desku na, kterou položíme kovy
4. Slunečný den
5. Termistor, když není k dispozici, použijeme ruku ☺

Co dělat?

Na začátku natřete jeden kus kovu bílou barvou, druhý černou barvou a třetí nech v barvě přírodní. Po zaschnutí barev je polož na připravenou dřevěnou plochu na přímé sluneční světlo.

Po minutě změř okolí destičky před a za destičkou. Proveď u všech. Pozor měříš-li rukou opatrně! Destička může pálit.

Po pěti minutách pokus opakuj.

Zaznamenej do tabulky hodnoty (termistor), pocity (ruka), a vyjádři svůj názor na ně.

Jaké barvy lépe odrážejí a absorbují teplo?

destička	teplota	
	po 1. minutě	po 5. minutě
přírodní barva		
bílá barva		
černá barva		

Názor:

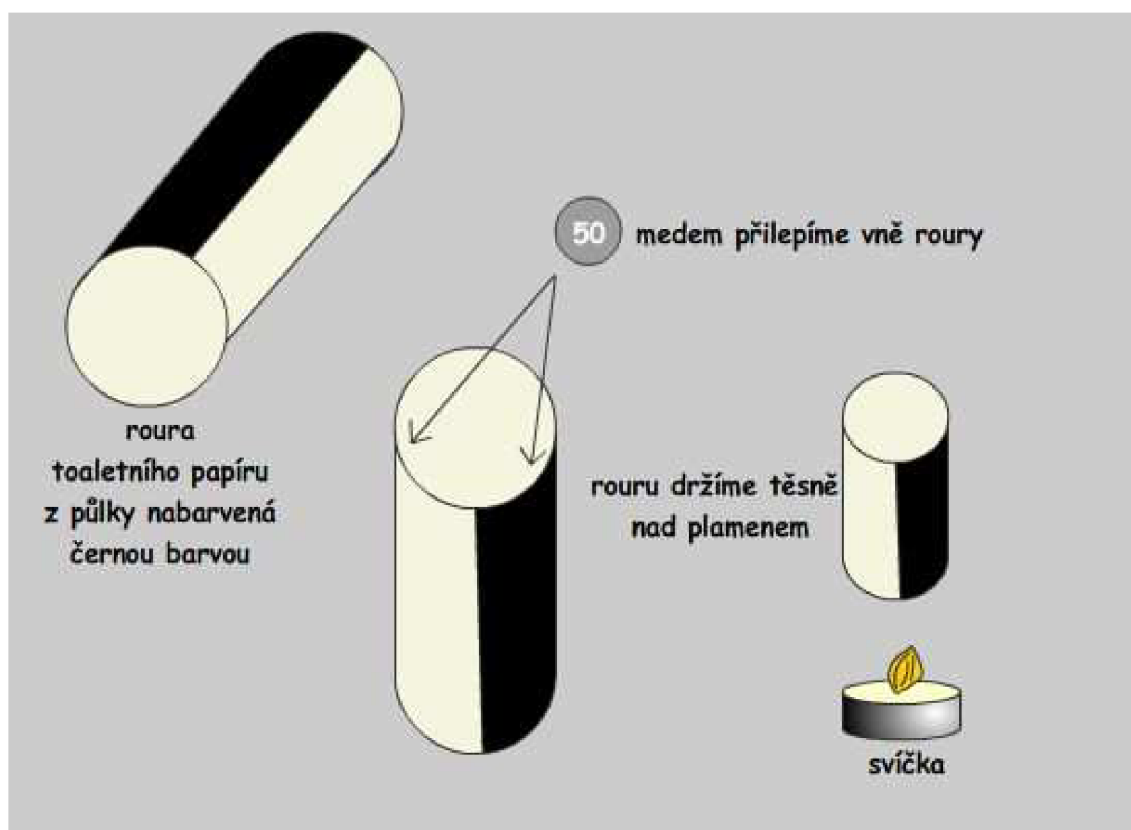
Přenos tepla sáláním

Co budeme potřebovat:

1. Papírová roura od toaletního papíru
2. Svíčku, zápalky
3. Dva padesátníky
4. Černou barvu
5. Včelí vosk

Co dělat?

Na začátku natřete jednu polovinu vnitřní strany papírové roury černou barvou. Druhou půlku necháme v barvě přírodní. Po zaschnutí barvy v tomto místě, ale vně roury, přilepíme včelím voskem padesátník. Druhý padesátník přilepíme do stejné výšky také vně roury, ale na místo s přírodní barvou. Na zapálenou svíčku postavíme rouru s mincemi. Po 3 - 4 minutách odpadne mince.



Která odpadne jako první a proč?

Stínění slunečního záření

V zimě, je použití slunečního záření ideálním vytápěním, ale v létě se můžou budovy přehřívat. Proto se používá stínění. Vhodné stínění dokáže zajistit dobré klima vnitřního prostředí. Pro zhotovení dobrého stínění je potřeba vědět, jak sluneční záření dopadá na budovu v různých, ročních obdobích.

Způsoby zastínění:

- Listnaté stromy, listy poskytují stín během léta, na podzim opadávají.
- Rolety, žaluzie mohou regulovat dopadající sluneční záření. Okenice mohou zabránit dopadání slunečního záření.
- Vnější vodorovné povrchy zabraňují pronikání přímých slunečních paprsků do budovy, když je slunce vysoko na obloze.
- Markýza, je roleta, kterou vytáhneme, zatáhneme podle potřeby.
- Sluneční panely, ploché nebo trubkové lze použít k zastínění teras.

Tepelná setrvačnost

Tepelná setrvačnost představuje odpor tělesa vůči změně teploty, když se okolní teplota změní: Proto mají různé předměty a materiály různé teploty ve stejný čas na stejném místě. Zpomaluje účinek extrémních okolních teplot.

Zjistěte a zaznamenejte, jaké jsou měsíční průměrné a mezní teploty vzduchu a vody v přímořském městě, nebo u velkého jezera. Voda a vzduch, představují látky s různou tepelnou setrvačností.

Hodnoty zanešte do tabulky a k nim vytvořte grafy.

		Měsíční teplota °C						
		leden	únor	březen	duben	květen	červen	
vzduch	Nejvyšší teplota							
	Nejnižší teplota							
	Průměrná teplota							
voda	Nejvyšší teplota							
	Nejnižší teplota							
	Průměrná teplota							
		červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	průměr rok
vzduch	Nejvyšší teplota							
	Nejnižší teplota							
	Průměrná teplota							
voda	Nejvyšší teplota							
	Nejnižší teplota							
	Průměrná teplota							

Grafy:

Vytápění sluneční energií

V zimě můžeme využít základní vlastnosti tepla pro vytápění budov sluneční energií. Pohlcování slunečních paprsků vnějšími, jižními zdmi, umožňuje vedení tepla vnitřními stěnami budov. Zdi nesmí být zastíněny stromy, nesmí ležet ve stínu.

Okna nám umožňují pronikání infračervených paprsků a vyhřívání vzduchu v budovách prouděním. Když okno bude zevnitř potaženo reflexní fólií, pak budou infračervené paprsky odraženy zpět do pokoje, který si tak bude uchovávat teplo.

Využití pasivní solární energie v domácnosti

- Zvažte podmínky v domácnosti, jak se mění v průběhu roku.
- Zapište, kde je nejteplejší místo v domácnosti, v létě? V jaké denní době je tato část nejteplejší?
- Zapište, kde je nejteplejší místo v domácnosti, v zimě?. V jaké denní době je tato část nejstudenější?
- Zapište opatření, kterými by podle vás šlo vylepšit pasivní využití solární energie v domácnosti v zimě?
- Zapište opatření, kterými by podle vás šlo snížit přehřívání domácnosti v létě?
- Zjistěte, kde by bylo možné získat další informace o pasivním využití solární energie ke zlepšení pohodlí v domácnosti.

Resumé

Cílem této studie je zlepšení pochopení částečných aplikací fyzikálních znalostí v projevu o klimatických změnách. Teoretický základ je zakotvený v kontextu fyzikálních principů, které popisují globální cirkulaci a klima. Teorie termodynamiky, zákonů záření a koncepční fyziky mohou vysvětlit hlavně klimatické procesy, které jsou produkovány skrz atmosféru.

Resumé

Aim of this study is to improve understanding of practical application of physical knowledge on discourse about climate change. Theoretical base is embedded in context of physics principle that describes of global circulation and climate. The theory of thermodynamics, radiation laws and conceptual physics can explain on basic level main climate process it produces through atmosphere.

Animace na CD