

FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ ASPEKTY UMĚLÉHO VYVOLÁNÍ DEŠTĚ

PAVEL CHUCHVALEC a ONDŘEJ SVOBODA

Ústav fyzikální chemie, VŠCHT Praha, Technická 5,
166 28 Praha 6
pavel.chuchvalec@vscht.cz

Došlo 4.3.09, přijato 6.8.09.

Klíčová slova: umělý déšť, modifikace počasí

Obsah

1. Úvod
2. Nemračme se na mraky – přírodní podmínky pro vznik deště
3. Co by bylo, kdyby existoval ideální mrak
4. Mechanismus vzniku deště
5. „Obchodníci s deštěm“ aneb postupy používané k vyvolání umělého deště
6. Závěr

1. Úvod

Vyvolat déšť umělým zásahem je jedním z dávných lidských snů týkajících se touhy člověka ovládnout počasí. Zejména v oblastech s extrémně nevyrovnaným zásobováním vodou je představa o možné regulaci vodních srážek stále velmi živá. Zpráva ze začátku letošního roku oznamuje, že v Číně jsou kriticky ohroženy suchem tradiční oblasti pěstování obilí. Smrt žízni hrozí milionům kusů dobytka a pitná voda dochází i 4 milionům lidí. Aby se zajistily nouzové zásoby vody, počítá čínská vláda i s pokusy vyvolat umělý déšť¹. Na opačném pólu problematiky stojí přání zabránit katastrofě vyvolané intenzivními lokálními průtržemi mračen, a proto např. Evropská unie financovala projekt ANTISTORM, který zkoumal vývoj srážek spolu s případným vlivem lidské činnosti na jejich intenzitu a lokalitu². Jaká je vlastně současná situace s možnostmi vyvolat místní déšť nebo naopak zabránit jeho vzniku?

2. Nemračme se na mraky – přírodní podmínky pro vznik deště

Jak známo, prší z mraků. Jsou-li k dispozici vhodné mraky, stává se úkol vyvolat umělý déšť hypoteticky snadnější než případ, kdy je nutno primárně uvažovat i o regulované tvorbě mraků³. Na Zemi se mraky skládají hlavně z vody v jejím kapalném nebo pevném skupenství^{4,5}. Kromě obsahu vody v atmosféře je další nutnou podmínkou vzniku mraků přítomnost prachových částic. Bez pracho-

vých částic ve vzduchu by neexistovaly ani mraky, jak je známe. Vzduch všude na Zemi prachové částice obsahuje. V oceánském ovzduší jsou v kubickém centimetru obsaženy řádově stovky drobných částic, u antropogenního znečištění v průmyslových oblastech to pak bývají i miliony⁶. Pro vznik deště je další důležitou okolností skutečnost, že existují nejen horizontální, ale i vertikální vzdušné proudy. Stoupající vzduch je podmínkou vzniku mraků.

Mraky vznikají poté, co parciální tlak vodní páry ve vzduchu dosáhne tlaku nasycené páry vody odpovídající dané teplotě – pokud je ve vzduchu dostatečný počet kondenzačních jader, vodní pára kondenzuje (v opačném případě dojde ke kondenzaci až za vysokého přesycení). Nezanedbatelným klimatickým faktorem pak je teplo uvolněné při kondenzaci, které může být např. příčinou vzniku tropických cyklonů a podobných mohutných bouří. Vzduch lze nasytit vodní parou při stávajícím obsahu vody jeho ochlazením. K ochlazení vzduchu dochází při jeho vzestupu do vyšších vrstev atmosféry. K tomuto jevu může dojít několika způsoby. Tím prvním je kontakt chladných a teplých vzdušných proudů. Jiný mechanismus je způsoben členitostí krajiny – horizontální vzdušné proudy se dostanou do kontaktu s horami a vzduch je nucen stoupat. I tento proces následně vyústí ve vznik mraků. Když vzduch stoupá, dochází k jeho adiabatické expanzi. Při tom se ochladí přibližně o 10 °C na každých tisíc metrů. Zdaleka ne každý typ mraku však představuje potenciál pro vznik deště. Mraky jsou tvořeny vodní parou a kapičkami vody nebo ledovými krystalky, případně obojím. Díky malé velikosti posledně zmíněných částic, relativně vysokému odporu vzduchu a stoupajícím vzdušným proudům zůstávají částice prakticky ve vlnosku. Odhaduje se, že průměrná mraková částice má v klidném prostředí rychlost klesání okolo 1,3 cm za vteřinu. Typické částice mraku (agregáty molekul vody na kondenzačním jádře) mají průměr od 0,012 do 0,1 milimetru⁷.

V praxi se používají zpravidla dvě klasifikace mraků⁸. Tou první je tzv. Howardova morfologická stupnice, druhou je rozdělení pouze na základě nadmořské výšky. Podle Howarda se mraky v zásadě dělí do tří hlavních kategorií: Cirrus, Cumulus a Stratus. Cirrus je vysoký, lehký, bílý vláknitý oblak tvořený ledovými krystalky. Leží přibližně v nadmořské výšce 6 kilometrů nad zemským povrchem. Cumulus je bílý až šedý, hustý kupovitý oblak s rovnou horizontální základnou a zaoblenými okraji. Leží níže než Cirrus, nicméně jeho horní část bývá i v létě též tvořena krystalky ledu. Stratus představuje stejnoměrnou vrstvu oblaků podobných mlze, ze kterých mrholí. Zpravidla se pozorovateli jeví, že Stratus pokrývá celou oblohu. Pozorujeme ho hlavně na podzim a vyskytuje se poměrně blízko povrchu – nenalezneme ho výše než ve 3 km a často je dokonce v kontaktu se zemí. Kromě těchto tří základních typů mraků existuje ještě další dělení

na několik hraničních typů. Druhá klasifikace spočívá v rozlišení podle nadmořské výšky základny mraku. V zásadě tak rozlišujeme mraky, které jsou výše než šest kilometrů nad zemským povrchem, v oblasti dva až šest kilometrů a níže než dva kilometry. Podle nadmořské výšky můžeme například usuzovat, ze kterých částic bude mrak převážně tvořen (kapky vody či krystalky ledu). Tato informace je potenciálně důležitá pro případný mechanismus umělého vyvolání srážek.

3. Co by bylo, kdyby existoval ideální mrak

Klasická termodynamika popisuje závislost tlaku nasycených par na teplotě pro případ rovnováhy kapalina–pára (při zanedbání molárního objemu kapalné fáze vzhledem k molárnímu objemu parní fáze a aproximaci chování parní fáze stavovou rovnicí ideálního plynu) Clausiovou–Clapeyronovou rovnicí:

$$\frac{d \ln p^s}{dT} = \frac{\Delta_{\text{vyp}} H_m}{RT^2} \quad (1)$$

kde p^s je tlak nasycených par, T absolutní teplota, $\Delta_{\text{vyp}} H_m$ představuje molární výparnou entalpii kapaliny a R je univerzální plynová konstanta.

Uvedený popis podmínek koexistence kapaliny a páry je vhodný pro „makroskopickou“ kapalinu (rezervoár kapaliny, která je v rovnováze s vlastní parou). Při charakterizaci chování systémů s částicemi kapaliny (kapičkami), které mají rozměry řádově v mikro- či nanometrech, je nutno vzít v úvahu rostoucí procento molekul na fázových rozhraních a odlišnosti v jejich chování podle toho, jestli se nacházejí v objemu fáze nebo na fázovém rozhraní. Snadno lze dokázat, že na zakřiveném rozhraní není rovnost vnějšího tlaku a tlaku uvnitř kapiček podmínkou fázové rovnováhy. Vztah mezi tlakem nasycených par nad rovným a zakřiveným kapalným rozhraním (kapičky) popisuje Kelvinova rovnice:

$$RT \ln \frac{p_r^s}{p_\infty^s} = \frac{2\gamma V_m^{(l)}}{r} \quad (2)$$

kde p_r^s je tlak nasycených par nad kapalinou se zakřiveným rozhraním o poloměru r a p_∞^s představuje tlak nasycených par nad kapalinou s rovným rozhraním. Parametr γ je povrchové napětí kapaliny a $V_m^{(l)}$ její molární objem.

Ze vztahu (2) je zřejmé, že při zmenšování poloměru kapičky se zvětšuje rozdíl ($p_r^s - p_\infty^s$). Tento jev je základní příčinou nízké stability systémů s malými částicemi kapaliny. Malé kapky vody se díky vyššímu tlaku nasycených par vypařují, ale vznikající pára je „přesycená“ vzhledem ke kapalině v kapkách (příp. na částicích) s nižším poloměrem zakřivení a má tendenci na nich kondenzovat. Výsledkem je zmenšení plochy fázových rozhraní, mezifázové energie a tím i celkové energie systému. Vrátime-li se nyní zpět k mrakům – za dostatečně nízké teploty v určité nadmořské výšce začne vodní pára kondenzovat a důsledkem je tvorba prvních malých kapiček. Tyto kapičky jsou

však tak malé, že v důsledku jejich vysokého tlaku nasycených par nedojde k jejich dalšímu růstu, ale naopak k vypařování. Přesycená vodní pára zůstává součástí mraku a ten je ve stavu jakési dynamické rovnováhy.

4. Mechanismus vzniku deště

Teoreticky jsou možné dva mechanismy vzniku velkých kapek a tudíž deště. První možností je náhodné nakupení velkého počtu molekul vody na jednom místě a rychlý vznik kapičky, na jejímž povrchu pak mohou kondenzovat další molekuly. Zároveň dochází ke koalescenci kapiček. Koalescenci můžeme chápat jako proces, při němž se dvě nebo více kapiček spojuje v celek o větším objemu, ale menším celkovém povrchu a tedy menší povrchové energii (při splnutí dvou stejných kapek se zmenší plocha povrchu o 41%). Tento děj se může uplatnit v teplých mracích – zejména přímořských, s velkým obsahem kapalné vody. Druhý mechanismus, který se uplatňuje u chladných mraků, je založen na interakci molekul vody s kondenzačními jádry (CCN – Cloud Condensation Nuclei). Kondenzační jádra jsou maličké prachové či jiné částice se značně velkým povrchem. Na povrchu těchto částic dochází ke kondenzaci vodní páry, případně ke vzniku krystalků ledu z podchlazené kapalné vody. Kdyby ve vzduchu nebyla žádná kondenzační jádra, ke vzniku deště by bylo třeba mnohem většího přesycení (čím menší je velikost kapky, tím větší přesycení by bylo třeba). Úloha kondenzačních jader spočívá tedy v tom, že vyvolají kondenzaci už v okamžiku, kdy je vzduch mírně přesycen.

Zdrojem kondenzačních jader jsou aerosoly. Aerosol je běžně definován jako heterogenní směs malých částic (pevných nebo kapalných) v plynu. V případě pevných částic se často mluví o dýmu, kapalně částice v plynu bývají označovány jako mlha. Částice mají velikost od 10^{-8} do 10^{-4} m. Součástí aerosolů vzniklých na základě lidské činnosti jsou hlavně sirany, dusičnany, organické uhlíkaté látky, saze a prach. Od průmyslové revoluce dochází k neustálému zvyšování obsahu aerosolů ve vzduchu následkem industriální činnosti člověka. Aerosoly však ovlivňují klimatický systém nejen jako zdroje kondenzačních jader, ale projevují se i nepřímými efekty, které jsou v posledních desetiletích předmětem intenzivního zkoumání⁹. Ačkoli i samotné imise v bezmračné atmosféře mohou ovlivňovat její absorpční a odrazové vlastnosti vzhledem k dopadajícímu slunečnímu záření, vliv přítomnosti těchto částic v mracích je mnohem významnější. Kapičky či kousky ledu v mracích interagují se zářením mnohem silněji než vlastní nukleační jádra, neboť jsou obvykle o několik řádů větší a významně tak zvyšují optickou tloušťku mraku. Větší množství aerosolů v ovzduší tedy způsobuje zvýšený odraz slunečního záření, zvýšenou absorpci energie mrakem a na Zemi tak dopadá méně sluneční energie. Tento jev je znám jako Twomeyho efekt¹⁰ a ve svém důsledku vede k ochlazení Země, delší životnosti mraku a snížení intenzity srážek (jedná se o proces, který co do účinku na zemské klima působí v opačném směru než skleníkový efekt). Díky satelitním pozorováním lze

v současnosti získat spolehlivou informaci o distribuci aerosolů v ovzduší¹¹. Měřitelnou veličinou je tzv. aerosolová optická hloubka, která je odvozena od množství slunečního záření odraženého do vesmíru. Antropogenní zdroje v současnosti již přispívají k této optické hloubce prakticky stejnou měrou jako přírodní aerosoly¹². Je zajímavé, že v literatuře je vysokým koncentracím aerosolů způsobených lidskou činností přisuzován jak pokles srážkové činnosti (díky Twomeyho efektu), tak nárůst srážek vlivem zvýšeného počtu kondenzačních jader v ovzduší^{13,14}. Tento duální efekt je příčinou jedné z největších neurčitostí ve výzkumu klimatu, neboť je obtížné jednotlivé vlivy kvantifikovat.

5. „Obchodníci s deštěm“ aneb postupy používané k vyvolání umělého deště

Z předchozích statí je patrné, že usilovat o lokální vyvolání deště má smysl pouze v případech, kdy se nad danou oblastí nachází vhodná mračna (zejména typu Cumulus). Cílem pak je zavést do nich látky, které by vyvolaly vznik srážek ve větším měřítku. Rozdílné technologie navržené pro tento účel shrnuje Bruintjes¹⁵. Cílené experimenty orientované na vyvolání srážek lze zaznamenat především v poslední čtvrtině dvacátého století. Jen mezi lety 1974 a 1995 zaznamenala Světová meteorologická organizace 88 probíhajících programů ve 27 zemích.

V počátcích snah o umělé vyvolání deště stojí zřejmě pozorování Schaefera¹⁶ a Vonneguta¹⁷, že přechod podchlazené kapalně vody na led lze efektivně aktivovat pomocí jodidu stříbrného nebo pevného CO₂. Obě tyto látky jsou doposud nejčastěji používané komponenty v experimentech s umělým deštěm v případě chladných mraků. Pro teplejší mraky se používá nukleace podporující koalescenci kapiček vody. Skutečně kardinálním problémem při experimentech s vyvoláním deště je jejich reprodukovatelnost. Je třeba vzít v úvahu geologickou polohu, roční období, meteorologické podmínky, technologii rozptýlení látky vyvolávající nukleaci atd.

Při pokusech o vyvolání deště u chladných mraků se v zásadě uplatnily dva přístupy – statický a dynamický. Statický koncept je založen na myšlence, že v mracích není dostatečné množství kondenzačních jader, a proto jsou do mraků vkládána uměle. Podle Cottona¹⁸ je možné tento postup využít jen pro kontinentální mraky, jejichž teplota na vrcholu je v rozmezí –25 až –10 °C. Lze konstatovat, že experimenty prokázaly, že tato snaha o vyvolání deště mění mikrostrukturu mraků, vede k urychlování tvorby ledových krystalků a zvyšování jejich počtu. Z programů, které se věnovaly ověřování statického konceptu, lze uvést např. HIPLEx¹⁹ nebo izraelské experimenty²⁰. Program HIPLEx se pokoušel o umělou nukleaci relativně jednoduchého mraku typu Cumulus Congestus, jehož fyzika byla dříve probádána, pevným CO₂. Bylo dosaženo rychlého zvýšení počtu sněhových vloček, tyto byly však velmi malé, padaly k zemi pomalu a v důsledku toho se většina z nich znovu vypařila. U izraelských experimentů byl pro nukleaci použit jodid stříbrný. Dávkování

bylo prováděno z letadla letícího na úrovni základny mraků. Množství použitého jodidu stříbrného bylo velmi nízké, vypouštělo se 500 g za hodinu do mraků na rozloze 3775 km² (pro srovnání – v případě dynamického konceptu se používá i 1 kg za hodinu na každý samostatný mrak). Podle výzkumného týmu se v dané oblasti zvýšila srážková činnost o cca 15 % vzhledem k oblasti kontrolní. Později byly výsledky izraelských experimentů zpochybněny a vedla se okolo nich v polovině devadesátých let intenzivní diskuse.

Principem dynamického konceptu je vypustit do konkrétního mraku relativně velké množství chemické látky, která vyvolá rychlé zmrazení mraku. S tím souvisí uvolnění značného množství tepla, které by mělo v ideálních podmínkách vyvolat vzdušné proudy tlačící mrak vzhůru k nižším teplotám – a tím i růst mraku. Rozdíl mezi statickým a dynamickým konceptem je možno ukázat na cílových hodnotách počtu krystalků ledu na litr vzduchu. Zatím co u statického módu je cílová koncentrace 1–10 krystalků na litr vzduchu při teplotě –15 °C, u dynamického konceptu se očekává na tentýž objem vzduchu 100–1000 krystalků. Z programů zaměřených na ověření dynamického konceptu lze uvést např. FACE – 1 (Florida Area Cumulus Experiment)²¹ a jeho pokračování²². Zatím co výsledkem prvního z programů bylo konstatování, že za vhodných meteorologických podmínek lze na základě dynamického konceptu zvýšit srážkovou činnost, následný program FACE – 2, který měl závěry prvního z programů definitivně potvrdit, nevykázal zdaleka tak optimistické výsledky.

U teplejších mraků (např. přímořský mrak s vysokou teplotou základny), kde je hlavním mechanismem vzniku deště kombinace kolizí a koalescence, se používá nukleace „hygroskopická“, kdy se do základny mraku vpravují vhodná kondenzační jádra urychlující koalescenci. Tato jádra (nejčastěji soli, např. NaCl) fungují jako umělé kapky, na kterých může koalescence probíhat. Průměr těchto částic bývá obvykle v řádu jednotek mikrometrů. Problémem tohoto přístupu je potřeba velkého množství rozptýlené látky a stanovení optimální velikosti částic. Zajímavé experimenty s nukleací teplejších mraků byly provedeny v jižní Africe, kde byly využity zplodiny speciálních pyrotechnických trysek umístěných na křídlech letadel jako kondenzační jádra očukující vhodné bouřkové mraky²³. Podle autorů studie byl srážkový úhrn v případě uměle modifikovaných bouří vždy vyšší než v případě kontrolních bouří neovlivněných nukleací.

6. Závěr

Programům na výzkum modifikace srážkové činnosti se dostávalo největší podpory v poslední čtvrtině minulého století. Jestliže ale v sedmdesátých letech věnovala vláda USA na tento výzkum okolo 19 milionů dolarů za rok, na začátku devadesátých let to bylo již jen 5 milionů a v roce 1997 jen 0,5 milionu. V témže roce se rozhodla i vláda Izraele zastavit podporu podobných programů. Úpadek financí na tento typ výzkumu samozřejmě neznamená jeho

zánik, i v současnosti lze zaznamenat projekty tohoto typu ve více než 22 zemích světa, prostředky jsou ale značně limitované a často ze soukromých zdrojů. Jedním z důvodů zastavení významnějšího přílivu financí do této výzkumné oblasti byl prvotní přílišný optimismus badatelů, kteří předpokládali možnost úspěšného zvládnutí „srážkového managementu“ určité větší oblasti.

Doposud se má za to, že pro roli nukleačních center jsou důležitější spíše fyzikální parametry částic (rozměr, velikost povrchu) než jejich chemické vlastnosti. Ve sněžných dělech, vytvářejících umělý sníh na podobném principu²⁴ jako vznikají krystalky ledu v mracích, se využívají jako nukleační centra i určité typy proteinů. Nicméně např. fakt, proč právě jodid stříbrný je vhodnou očukující látkou, není zatím objasněn. S podobně zajímavým zjištěním týkajícím se specifického vlivu aerosolových částic antropogenního olova na vznik srážek (a případnou modifikaci počasí způsobenou Twomeyho efektem) přišel mezinárodní tým²⁵, který studoval chemické složení mraků na vrcholu švýcarské Jungfraujoch v zimních obdobích 2006 a 2007. Aerosolové částice obsahující olovo se ukázaly být jedním z nejefektivnějších nukleačních činidel – olovo bylo identifikováno přibližně v každém druhém ledovém krystalku mraku, zatímco z hlediska celkové populace aerosolových částic bylo nalezeno zhruba v každé dvacáté. Dovedeno ad absurdum je od tohoto zjištění již jen krok k úvahám, že za současným globálním oteplováním může stát používání bezolovnatého benzínu v posledních desetiletích a že vlastně přítomnost olova v ovzduší je důležitá pro „zdravé klima“ naší planety...

V literatuře lze nalézt informace popisující dílčí úspěchy při umělém vyvolání deště na úzce lokalizovaném území (např. vyvolání deště za účelem vyčištění ovzduší městských aglomerací v Číně či v Saudské Arábii). Důležitou roli při tom hrají meteorologické radary určující výšku mraků, jejich objem, trajektorii, rychlost a obsah vody. Způsob očukování mraků kondenzačními jádry (použitá látka, velikost částic, množství a způsob rozptýlení do mraku) pak je často předmětem patentové ochrany. V předchozích letech bádání však byla zejména podceňována složitost a různorodost meteorologických procesů a poznání fyziky mraků. Doba, kdy se umělé vyvolání deště stane jedním z vodohospodářských nástrojů, je tak stále ještě v nedohlednu.

Tato práce vznikla za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, výzkumný záměr č. 6046137307.

LITERATURA

1. <http://zahranicni.ihned.cz/c1-33945730-cina-vyhlasila-stav-nouze-kvuli-suchu-zkusi-i-umely-dest>, staženo 5.2. 2009.
2. http://antistorm.isac.cnr.it/ANTISTORM_Science_final_report.pdf, staženo 9.4. 2009.
3. Brenig L., Mahrer Y., Offer Z.: *Geliotekhnika* 2, 84 (2001).
4. www.meteocentrum.cz, staženo 20. 11. 2007.
5. www.physicalgeography.net, staženo 20. 11. 2007.
6. Jungwirth P.: *Vesmír* 82, 196 (2003/4).
7. Day J. A.: *The Book of Clouds*, Sterling 2005.
8. Svoboda O.: *Bakalářská práce*. VŠCHT, Praha 2008.
9. Lohmann U., Feichter J.: *Atmos.Chem.Phys.* 5, 715 (2005).
10. Twomey S.: *Atmos. Environ.* 8, 1251 (1974).
11. Kaufman Y.J., Koren I.: *Science* 313, 655 (2006).
12. Ramanathan V., Crutzen P. J., Kiehl J. T., Rosenfeld D.: *Science* 294, 2119 (2001).
13. Rosenfeld D., Lohmann U., Raga G. B., O'Dowd C. D., Kulmala M., Fuzzi S., Reissell A., Andreae M. O.: *Science* 321, 1309 (2008).
14. Teller A., Levin Z.: *Atmos.Chem.Phys.* 6, 67 (2006).
15. Bruintjes R. T.: *Bulletin of American Meteorological Society* 80, 805 (1999).
16. Schaefer V. J.: *Science* 104, 457 (1946).
17. Vonnegut B.: *J. Appl. Meteor.* 27, 829 (1947).
18. Cotton W. R.: *Weather Modification by Cloud Seeding – A Status Report 1989–1997*, <http://rams.atmos.colostate.edu/gkss.html>, staženo 12.7.2008.
19. Smith P. L., Dennis A. S., Silverman B. A., Super A. B., Holroyd E. W., Cooper W. A., Mielke P. W., Berry K. J., Orville H. D., Miller J. R.: *J. Appl. Meteor.* 23, 497(1984).
20. Gagin A., Neumann J.: *J. Appl. Meteor.* 20, 1301 (1981).
21. Woodley W. L., Jordan B., Barnston A., Simpson J., Biondini R., Flueck J. A.: *J. Appl. Meteor.* 21, 139 (1982).
22. Woodley W. L., Barnston A., Flueck J. A., Biondini R.: *J. Appl. Meteor.* 22, 1529 (1983).
23. Mather G. K., Terblanche D. E., Steffens F. E., Fletcher L.: *J. Appl. Meteor.* 36, 1433 (1997).
24. Kratochvíl B., Chuchvalec P.: *Chem. Listy* 103, 329 (2009).
25. Cziczo D. J., Stetzer O., Worringer A., Ebert M., Weinbruch S., Kamphus M., Gallavardin S. J., Curtius J., Borrmann S., Froyd K. D., Mertes S., Möhler O., Lohmann U.: *Nat. Geosci.* 2, 333 (2009).

P. Chuchvalec and O. Svoboda (*Department of Physical Chemistry, Institute of Chemical Technology, Prague, Czech Republic*): **Physicochemical Aspects of Artificial Rainfalls**

Natural conditions necessary for the artificially generated rainfall are presented. The mechanism of formation of cloud condensation nuclei is described. Air pollution and smoke can increase or decrease the cloud cover. The activity of various nuclei in warm and cold clouds is discussed. Future prospects of research in this field are predicted.