



UNIVERZITET U NOVOM SADU

Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku

Smer:Fizika, meteorologija i modeliranje životne  
sredine

Seminarski rad (2) iz uvoda u meteorologiju I

MAJA PLAVŠIĆ

MEHANIZMI KONDENZACIJE I  
SUBLIMACIJE VODENE PARE U  
ATMOSFERI

Novi Sad, 09.01.2007. godine

## SADRŽAJ

1. Uvod .....	3
2. Kondenzacija i sublimacija vodene pare u atmosferi .....	4
3. Mehanizmi kondenzacije i sublimacije vodene pare u atmosferi .....	7
4. Zaključak .....	10
5. Literatura .....	11

*MEHANIZMI  
KONDEZACIJE I  
SUBLIMACIJE  
VODENE PARE U  
ATMOSFERI*

## 1. UVOD

Vodena para dolazi iz vode, snega, leda, Zemljine površine ili biljaka. Čini od 0.20% do 0.40% atmosfere. U njoj zatvara jedan krug koji je poznat pod imenom *kruženje vode* ili *vodene pare u atmosferi*. Sa površine kopna i vodenih basena isparava se voda koja zatim dospeva u atmosferu gde se kondenzuje. *Kondenzacija* predstavlja fazni prelaz iz gasovitog u tečno stanje, dok je direktan prelaz iz gasovitog u čvrstu fazu definisan kao *sublimacija*. Oba procesa se odigravaju u atmosferi i na zemljinoj površini, preciznije, na predmetima i biljnom pokrivaču koji se nalaze na njoj. Kao produkti kondenzacije javljaju se oblaci.

Vodena para, koja se nalazi u atmosferi zgušnjava se i prelazi u vodu ili led, kada pritisak vodene pare postane veći od maksimalnog pritiska za preovlađujuće temperature vazduha. U ovakvom slučaju vazduh postaje prezasićen ( u odnosu na vodu ili led ). Zasićenost je maksimalna količina vodene pare koju vazduh može da primi pri određenoj temperature.

Prezasićenost vazduha može se ustanoviti na osnovu podataka relativne vlažnosti; npr. ako je relativna vlažnost 120% to znači da se u vazduhu nalazi 20% više vodene pare nego što je maksimalni pritisak vodene pare. Čim vazduh postane zasićen i prezasićen vodenom parom u njemu treba da nastupi kondenzacija ili sublimacija.

## 2. KONDENZACIJA I SUBLIMACIJA VODENE PARE U ATMOSFERI

Pošto se kondenzacija i sublimacija javljaju kada je vazduh zasićen vodenom parom, dokazano je da u njemu ne mora da nastupi kondenzacija i sublimacija vodene pare. Ovo se može dogoditi samo pod uslovom, ako je potpuno čist, tj. ako u njemu nema sitnih delića, koji služe kao pridodaci u vazduhu, a koji se zovu *aerokoloidi*. Ali, ako u vazduhu prezasićen vodenom parom dospe veliki broj raznih čestica onda će se u njemu izvršiti kondenzacija viška vodene pare. Čestice prašine služe kao kondenzaciona jezgra, oko kojih se vodena para lako kondenzuje.

Dokazano je, da je za kondenzaciju vodene pare uvek potreban izvestan stepen prezasićenosti. Ovo naročito važi za kondenzaciju u višim vazдушnim slojevima, gde je vazduh dosta čist. Međutim, ako u vazduhu ima dovoljan broj kondenzacionih jezgara, onda će kondenzacija nastupiti čim vazduh bude dovoljno zasícen vodenom parom, tj. veliko prezasićenje vazduha neće biti potrebno. Prama tome, kondenzaciona jezgra igraju veoma veliku ulogu pri kondenzaciji vodene pare. Ako je svako jezgro dovoljno veliko, onda će se oko njega nahvatati molekuli vodene pare i obrazovati kapljice vode, za koje je

okolni vazduh zasićen vodenom parom. Ako ovakva jezgra imaju naročite osobine, npr. električno opterećenje, higroskopnost i dr. tada se molekuli vodene pare odmah vezuju za njih, i tako se stvaraju vodene kapljice. Istraživanjima je dokazano da obična prašina nema skoro nikakvog uticaja na kondenzaciju vodene pare.

Hlađenje vazduha do temperature rosne tačke, i kondenzacija ili sublimacija vodene pare u atmosferi mogu nastati u sledećim slučajevima:

1. Pri dodiru vazduha sa hladnim telima, najčešće sa hladnom zemljinom površinom i predmetima na njoj.
2. Pri gubljenju toplote usled radijacije ( naročito pri noćnom hlađenju zemljine površine i vazdušnih masa iznad nje).
3. Pri adijabatskom širenju i hlađenju vazduha ispod temperature rosne tačke.
4. Pri mešanju hladnih i toplih vazdušnih masa.

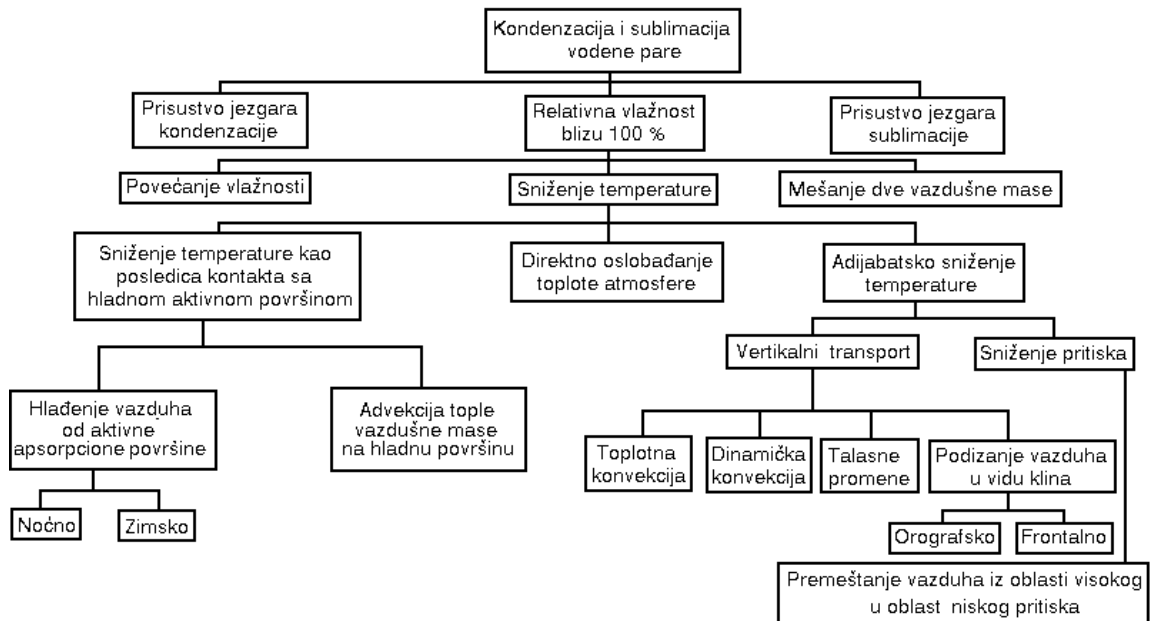
Sve ovo važi za kondenzaciju i sublimaciju ako u atmosferi ima dovoljno kondenzacionih jezgara. Dakle, svi procesi koji snižavaju temperature vlažnog vazduha mogu u isto vreme dovesti do kondenzacije ili sublimacije vodene pare. Kao najvažniji među ovim procesima jeste adijabatsko širenje i hlađenje vazduha, koje se dešava pri vertikalnom strujanju vlažnog vazduha. (Milosavljević, M., 1953.)

Sublimacija i kondenzacija vodene pare se javlja putem hlađenja vazduha. Kondenzacija vodene pare se može podeliti u četiri grupe:

1. usled hlađenja zemljišta putem izračivanja i hlađenja naležućeg sloja vazduha
2. usled dodira toplog vazduha sa hladnom aktivnom površinom
3. pri mešanju dve vazdušne mase različitih sadržaja vodene pare, bliskih zasićenja, i različitih temperature
4. pri adijabatskom uzdizanju

Kondenzacija se još javlja i na zemljinoj površini (magla i sumaglica), vegetaciji i nadzemnim predmetima (rosa, inje, slana...). Proces kondenzacije može da se odigra i na nehigroskopnik česticama koje lebde u vazduhu, kao što su: čestice zemljišta i mineralnih materija, razni mikroorganizmi, itd.

Na slici 1. šematski su prikazani procesi putem kojih se obavljaju kondenzacija i sublimacija vodene pare u atmosferi.



Slika 1. Šema procesa kondenzacije i sublimacije vodene pare u atmosferi

### 3. MEHANIZMI KONDENZACIJE I SUBLIMACIJE VODENE PARE U ATMOSFERI

Vodena para koja se nalazi u atmosferi može da pređe iz gasovitog u tečno ili čvrsto stanje samo ako je parcijalni pritisak vodena pare  $e$  veći od maksimalnog pritiska vodene pare  $E_w$  pri datoj temperature, tj. ako je  $e > E_w$ . Ovi procesi se odvijaju preko *mehanizama* koji nisu tako jednostavni i navedeni uslov nije sam po sebi dovoljan da bi došlo do kondenzacije ili sublimacije.

Uvek je u ovakvim situacijama uputno upoznati se prvo sa mehanizmom tzv. *homogene kondenzacije* koja se odnosi na obrazovanje vodenih kapi u homogenoj vodenoj pari. Slika ovog procesa ja mnogo jasnija ako pretpostavimo da se u gasnoj fazi molekuli sudaraju, ali da se tom prilikom ne razlete već da obrazuju jedan stabilan kompleks – *kap*. Dimenzije takve kapi, dok je  $e < E_w$  će početi da se brzo uvećavaju pri čemu će se uvećati tzv. *Gibsonova slobodna energija*  $G_b$ , koja je definisana kao:

$$G_b = U - TS + eV$$

gde su: U-unutrašnja energija

T-temperatura

S-entropija

e-pritisak vodene pare

V-zapremina sistema, u ovom slučaju kapi.

U uslovima prezasićene vodene pare, tj. kada je  $e > E_w$ , rast kapi će se odvijati do neke kritične vrednosti kada će kap da postane stabilna. Račun pokazuje da bi za obrazovanje jedne stabilne kapi putem homogene kondenzacije, u  $1\text{ m}^3$  vodene pare u toku 1 s, bilo potrebno da pritisak vodene pare bude veći od njegove vrednosti  $E_w$  za 4,4 puta. U atmosferi takva prezasićenja su veoma retka (ovakva prezasićenost je uočena u blizini velikih geozira, (npr. u Jeloustonoskom parku u Sjedinjenim Američkim Državama) tako da ovaj vid kondenzacije nema primetnu ulogu u kondenzacionim procesima u atmosferi.

U prirodi je mnogo većeg značaja jedan drugi mehanizam pod imenom *heterogena kondenzacija*. Ona se sastoji u tome da se obrazovanje kapi odvija na česticama koje se nalaze u zapremini vodene pare koja se kondenzuje. Tom prilikom prezasićenje vodene pare ne treba da ide do razmera kao kod homogene kondenzacije, već se ono obavlja pri znatno manjim vrednostima pritiska vodene pare koje su nešto iznad njegove maksimalne vrednosti. Ovo je naročito izraženo ukoliko je poluprečnik čestica veći. Za kondenzaciju na česticama poluprečnika većeg od  $10^{-7}$  m potrebno je neznatno prezasićenje. Površinski napon kapi je dovoljno veliki da ne dozvoli molekulima vode da odu sa nje tj. da ne učestvuju u isparavanju. Ovim objašnjenjem je upravo naznačen princip funkcionisanja *jezgra kondenzacije* ili *kondenzovanih jezgara* kako se još nazivaju. Jezgra kondenzacije su primese koje se na različite načune unose u atmosferu pri čemu su to najčešće hidroskopne čestice soli i kapljice kiselina. Ona se obično zadržavaju u atmosferi u vidu najsitnijih čestica koje u nju dospevaju isparavanjem kapljica morske vode obrazovanih pri pojaviv velikih talasa. Takođe, čestice u atmosferi mogu da se zadrže kao produkti sagorevanja uglja. Jezgra mogu da budu i kosmička i vulkanska prašina. Koncentracija jezgra kondenzacije se meri njihovim brojem u  $1\text{ cm}^3$  vazduha.

Praktično, sve tečne ili tvrde čestice aerosola koje lebde u vazduhu mogu da budu jezgra kondenzacije. Ona su čestice koje pri uslovima prezasićene vodene



pare mogu da budu centri kondenzacije vodene pare. Zbog zakrivljenosti njihove površine, maksimalan pritisak vodene pare iznad nje je znatno veći nego iznad ravne površine.

U atmosferi je prisutan i velik broj ledenih čestica. Uočeno je da one u znatnoj meri mogu da doprinesu kondenzacije. Još 1993. godine znameniti meteorolog Bergeron izneo je hipotezu da ove čestice imaju ulogu *jezgara sublimacije* ili *ledenih jezgara*. Na njima se ledeni kristali obrazuju direktno iz vodene pare tj. *sublimacijom*. U novije vreme preovlađuje uverenje da se ledeni kristali obrazuju jednim drugim mehanizmom i da ledena jezgra ne učestvuju u njemu. Smatra se da se process obrazovanja ledenih kristala odigrava na sledeći način: prvo se mehanizmom kondenzacije obrazuje kompleksna kap vode iznad običnog jezgra kondenzacije da bi se potom, pri dovoljno niskim temperaturama, ona zamrzla prelazeći u čvrstu fazu. Samo iznad ovako obrzovanog jezgra može da dođe do formiranja ledenih kristala. Često se ovako obrazovana ledena jezgra nazivaju i *jezgrima mržnjenja*. U atmosferi vodene kapi mogu da ostanu nezamrznute i pri temperaturama koje su znatno ispod 0°C. Tada se za vodu kaže da je *prehlađena*. Na primer, u oblacima i magli uočeno je prisustvo prehlađene vode i na temperature od 40°C. Najveći deo kapi prelazi u led na temperaturama između -12°C i -17°C. Na osnovu istrživanja u laboratoriji postojanje prehlađene vode objašnjava se uslovima faznih prelaza vode. Za mržnjenje kapi vode potrebno je postojanje tzv. centra kristalizacije koji se obrazuju na dosta niskim temperaturama. Što se jezgra neophodnih za obrazovanje ledenih kristala tiče, može se istaći sledeće:

postoji čitav niz jedinjenja koja mogu da posluže za njihovo obrazovanje i to pri dosta visokim temperaturama (-3°C). Takvi su srebro jodid (AgJ) ili olovo jodid (PbJ<sub>2</sub>) koji su nezamenjivi u postupku veštačkog obrazovanja padavina.

## 4. ZAKLJUČAK

Zaključujemo da se u vazduhu uvek nalazi izvesna količina vodene pare, koja dospeva u atmosferu isparavanjem sa vodenih površina zemljišta kao i transpiracija biljaka. Snižavanjem temperature vazduh postaje sve vlažniji. Kada se dovoljno rashladi, vazduh se zasiti vodenom parom i tada nastupa kondenzacija ili sublimacija. Vodena para se kondenzuje i stvara oblake, kada se ona ohladi stvara kišu. Kondenzacija ili sublimacija vodene pare u atmosferi može nastati pri dodiru vazduha sa hladnim telima, pri gubljenju toplote usled radijacije, pri adijabatskom širenju i hlađenju vazduha, pri mešanju hladnih i toplih vazdušnih masa. Sve ovo vazi za kondenzaciju i sublimaciju ako u atmosferi postoji dovoljan broj sublimiranih jezgara. Postoje dva mehanizma kondenzacije, jedan je mehanizam heterogene kondenzacije a drugi homogene kondenzacije koji se odnose na obrazovanje vodenih kapi.

## LITERATURA

Velika enciklopedija sveta, 2002., ITP „ZMAJ“, Novi Sad, 499 str

Milosavljević, M., 1953.: Meteorologija, Beograd, 356 str.

