

Homogenní nukleace vody

M. Novák, K. Rudolfová

Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i.

ma.novak@pekcloud.cz, k.rudolfova@pekcloud.cz

Abstrakt:

Při extrémních podmínkách v reaktorech elektráren, ale i v turbínách či motorech dochází dennodenně ke kondenzaci, se kterou se ovšem zvládneme vypořádat. Problém nastává při jevech, jako je nukleace homogenních látek. Nukleace může totiž způsobit navlhnutí přístrojů, a tím je závadně poškodit, což může vést, jak k finančním ztrátám, tak ke mnohem větším, enviromentálním problémům. Cílem naší práce bylo tedy popsat, kdy a za jakých podmínek k nukleaci dochází. K měření jsme využívali He-Ne laser, pomocí něhož jsme určovali množství shluků způsobených nukleací.

1 Úvod

Homogenní nukleace je děj, kdy se při extrémních podmínkách ($217\text{ K} < T < 259\text{ K}$, $6,5 < S^1 < 11$, $40\text{ kPa} < p < 73\text{ kPa}$) v přesycené páře vytvářejí shluky molekul. Za těchto podmínek je energie, potřebná k udržení molekul u sebe, namísto odražení, natolik nízká, že je pro soustavu výhodné vytvářet shluky. Homogenní nukleaci můžeme nazývat homogenní pouze v případě, že se v soustavě nenacházejí žádné prachové částice a žádná stěna. Pokud by se tam nacházely, mluvili bychom o nukleaci heterogenní.

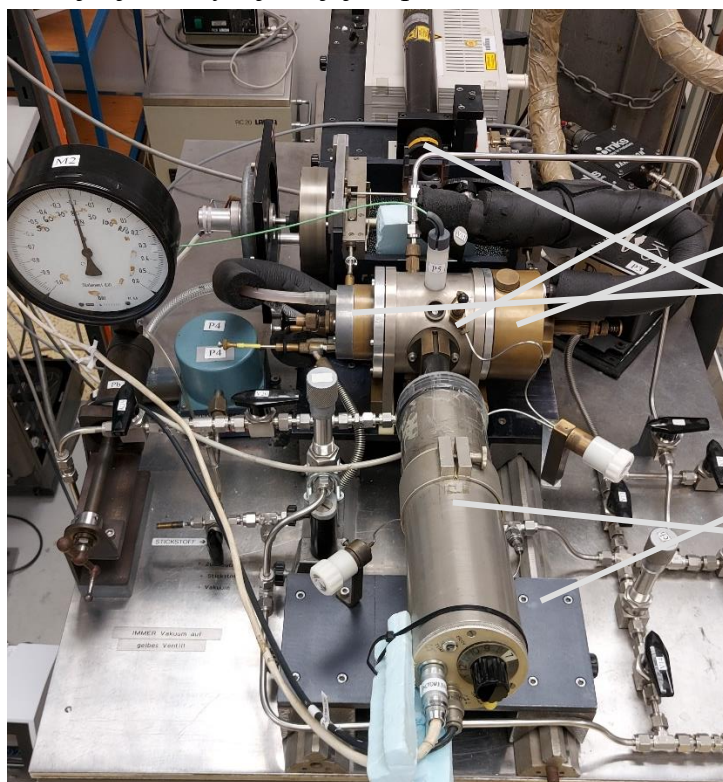
V současné době bohužel nejsme schopni vyzkoumat více, vzhledem k podmínkám v laboratoři. Jedná se o jednu ze 3 laboratoří na světě zkoumajících tuto problematiku, avšak pouze v této se do přesycené páry přidává i oxid uhličitý, a zkoumá se jeho účinek na homogenní nukleaci vody.

2 Proces nukleace

K homogenní nukleaci dochází při extrémně rychlé změně počátečního stavu látek, to zajistí podmínky, při kterých se chování, jinak volných molekul vody, změní tak, že se molekuly vody začnou, místo neustálého odražení se, na sebe navzájem vázat. Při překročení kritického poloměru r^* se shluk stane stabilním a začne se zvětšovat, pokud kritického poloměru r^* nedosáhne, zárodečný shluk se rozpadne zpátky na volné částice. Při formování shluků je stále přítomen dodávaný plyn, který vznikajícím, zahřívajícím se kapkám, odebírá teplo, a tím jim snižuje teplotu. Díky tomuto ději můžeme zkoumat vliv různých plynů na homogenní nukleaci vody.

Náš experiment

Proces nukleace v našem experimentu probíhá ve 3 komorách, kde vytváříme ideální podmínky pro vytvoření shluků, jejich expanzi ale také tvoření pouze po určitou dobu. V první komoře máme normální atmosférický tlak, je sem přivedena přesycená pára smíšená s inertním plynem popř. CO₂. Následně je otevřena přepážka do druhé komory, ve které je podtlak. Tím nám rapidně klesne tlak a začnou se tvořit shluky. Během 1 milisekundy dochází k tvorbě a expanzi shluků vody (obklopených molekulami/atomy plynu) do velikosti větší než je její kritická hodnota, což znamená že se shluky stanou energeticky stabilními. Ty jsou změřeny helio-neonovým laserem pomocí lomu světla ve shlucích. Po tomto čase se otevře i třetí komora s tlakem o trochu vyšším než v nyní dvou spojených komorách. Tím se zastaví tvorba kapiček, které již jen nabývají na jejich poloměru.



Hlavní (I.) komora

II. komora

III. komora

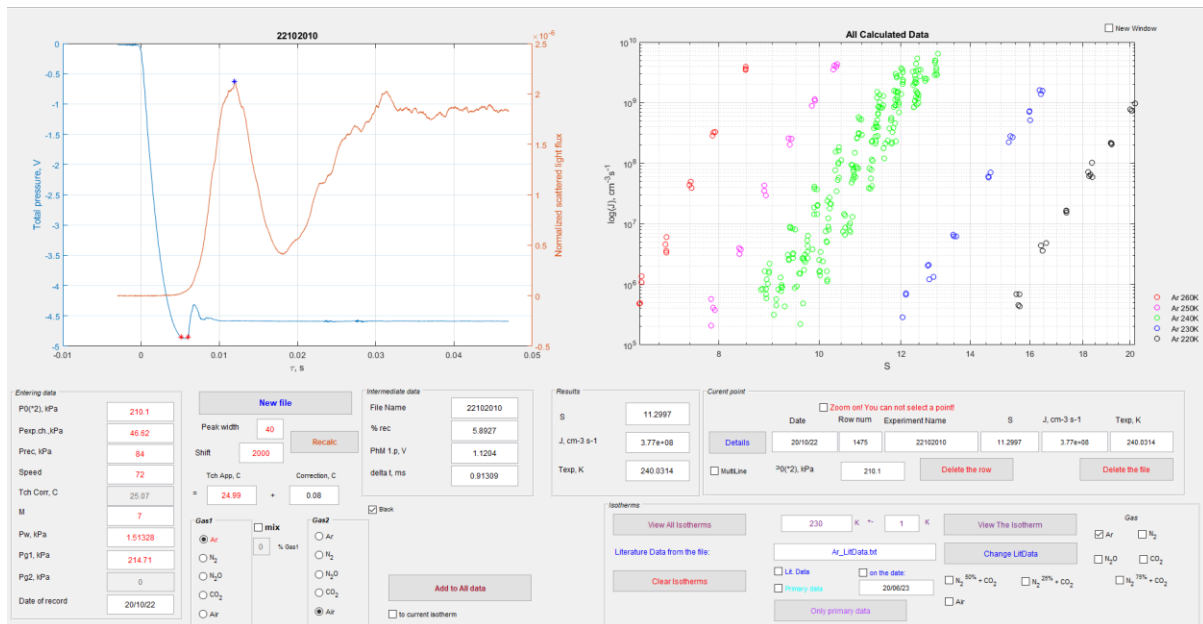
Laser

Fotodioda

Fotonásobič

Měření pomocí He-Ne laseru

Shluky, které se vytvoří jsou prosvíceny laserovým paprskem. Ten se ale rozlomí na několik frakcí, a my jsme schopni změřit kolik světla proniklo skrz a kolik z rozštěpeného světla prošlo (v této laboratoři je měřený úhel 15 stupňů). Lomené světlo měříme pomocí fotonásobiče a transparentní světlo pomocí fotodiody. Podíl zachyceného lomeného světla a transparentního světla vydělíme vypočítanou hodnotou pro jeden, fiktivní, shluk (který by se jako jediný nacházel v komoře) a získáme tak počet shluků.



3 Shrnutí

Homogenní nukleace vody je velmi zajímavý, ale může být i nebezpečný jev, není-li mu správně porozuměno. V rámci experimentu jsme popsali změny lomu světla při tvorbě shluků částic vody, a jejich následnému růstu. To nám pomohlo k bližší informovanosti a znalosti tohoto problému, který ještě není uspokojivě popsán. Na zobrazení z grafů jsme vyčetli vzor chování shluků. Naše poznatky a měření byly přidány do systému MATLAB, ve kterém pomohou dalším pokrokům v této oblasti. Věříme, že průlom v právě této oblasti je nablízku.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat manželům Ing. Tetiane Lukianovové a Ing. Mykolovi Lukianovovi, Ph.D. za skvělou spolupráci a výborné vedení naší práce.

Seznam použité literatury

- [1] NUCLEATION ANJI GROWTH OF CLUSTERS IN EXPANDING NOZZLE FLOWS; Otto F. HAGENA 1980
- [2] Homogeneous water nucleation and droplet growth in methane and carbon dioxide mixtures at 235 K and 10 bar; V. Holten; M. E. H. van Dongen 2010
- [3] Critical cluster composition from homogeneous nucleation data: application to water in carbon dioxide–nitrogen carrier gases; M.M. Campagna 2021
- [4] Homogeneous water nucleation in argon, nitrogen, and nitrous oxide as carrier gases; Mykola Lukianov, Tetiana Lukianova, Jan Hrubý 2023