Naslov rada:

Para

Učenik: Filip Težak-3.r. , Ivan Ratković-3.r.

Elektrostrojarska škola, Varaždin

MENTOR: Damir Kliček, prof. Fizike

Kontakt: damir.klicek@skole.hr

Zahvaljujemo se mentoru, prof. Damiru Kličeku za pomoć, stručne savjete i usmjerenja kod izrade ovog rada.

Također, zahvaljujemo se svojim roditeljima na podršci i razumijevanju te na pomoći oko rada.

1 UVOD

U našem radu proučavali smo svojstva pare kao realnog plina na različitim temperaturama i tlakovima.

Para je plinovito stanje tvari. Ona može nastati hlapljenjem, isparavanjem ili sublimacijom.

Para je plin koje se nalazi na temperaturi i tlaku blizu kritične temperature i tlaka kod koje dolazi do kondenzacije, to jest čestice su joj u odnosu na plin jako blizu jedna drugoj.

Para se sastoji od odvojenih molekula u plinovitom stanju koje se slobodno kreču u svim smjerovima. Para ispunjuje sav volumen u kojem se nalazi, te tlak djeluje u svim smjerovima.

Razlika između vodene pare i plina je što je plin na daleko višoj temperaturi i tlaku u odnosu na paru, ali po sastavu su isti (npr. isparena voda na 105 °C i 1013 hPa je para, dok je na 500 °C plin). Paru ne možemo smatrati idealnim plinom, ali plin već možemo.

Kad kažemo para, ljudi najčešće misle na vodenu paru no sve materije imaju svoju paru na određenoj temperaturi i zraku.

U našim mjerenjima mi smo koristili vodenu paru.

Vodena para je voda u plinovitom obliku. Para se sastoji od mnogo slobodnih lebdećih molekula vode (H_2O). Vodena para je bezbojan plin, a ono što mi vidimo kod isparava je ustvari para pomiješana sa vodom koja se kondenzira jer je došla u područje gdje je temperatura niža od 100 °C.

Voda ima tri agregatna stanja: kruto (led), tekuće (voda) i plinovito (vodena para).Najveća razlika između plinova i tekućina je što plinove možemo lako stlačivati, dok tekućine puno teže, te to da plin ispuni cijeli prostor u kojem se nalazi dok tekućina ne.

2 O PARI

POVIJEST PARE

Prava korištenja pare počela su u antičko vrijeme gdje se pojavljuju prvi parni stroj, Heronova kugla. U srednjem vijeku ljudi su počeli kuhati na njoj kuhali na njoj. Veća korištenja pare počela su u 18. stoljeću pojavljivanjem parnih strojeva, gdje se para koristila kao medij koji je prenosio energiju iz kotla do klipova. Danas najviše koristi kao motor za pokretanje generatora u termalnim, solarnim i nuklearnim elektranama.

PRIMJENA PARE

- Parni stroj i parna turbina
- Spremnik energije
- Kogeneracija
- Sterilizacija
- U domaćinstvu

3 TEORIJA

Toplinski kapacitet (znak C) je fizikalna veličina koja pokazuje koliko topline treba nekomu tijelu dovesti da mu se temperatura povisi za 1 K (1°C).

Definirana je omjerom topline (Q) koju tijelo razmjenjuje s okolinom i promjene temperature (ΔT) tijela:

$$C = \frac{Q}{\Delta t}.$$

Jednadžba 1

Mjerna jedinica je džul po kelvinu (J/K).

Specifični toplinski kapacitet (znak c) je energija koju 1 kilogram materije može primiti da joj se temperatura povisi za 1K (1 °C).

Definirana je omjerom topline toplinskog kapaciteta (C) tijela i mase tog tijela (m).

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\Delta t}.$$

Jednadžba 2

Mjerna jedinica je džul po kelvinu (J/kg*K).

Za plinove se razlikuju specifični toplinski kapacitet kod stalnoga tlaka (c_p) i kod stalnoga volumena (c_v).

$$\chi = \frac{c_p}{c_v}$$

Jednadžba 3

Omjer tih dvaju kapaciteta je adijabatska konstanta χ koja nam služi kod proračuna adijabatskih procesa.

Površinska napetost. Molekula vode okružena je s 11 molekula vode. U vodi postoji uređenje kratkog dosega. Nakupine molekula gibaju se slobodno iako između njih postoji interakcija. Unutar nakupina molekule titraju oko ravnotežnog položaja. Rezultantna sila na molekulu vode u vodi okolnih molekula je nula. Na površini sila na molekule nije nula već postoji rezultantna sila koja vuče molekule u unutrašnjost tekućine tako da je gustoća molekula na površini manja nego u samoj vodi. Molekule na površini odmaknute su od ravnotežnog položaja i između njih djeluje privlačna sila, a ta sila zove se napetost površine. Slično kao kad napnemo gumu balona. Zbog napetosti površine na vodi mogu plivati lagani predmeti poput igle ili novčića od 2 lipe. Površinska napetost ne djeluje samo od gore nego i od dolje.

Latentna toplina je količina toplinske energije koja je potrebna jednom kilogramu materije za prelazak u iz jednog agregatnog stanja u drugo, odnosno količina toplinske energije koju ista količina materije oslobodi prilikom prelaska prijašnje agregatno stanje.

Specifična latentna toplina taljenja je količina toplinske energije koja je potrebna jednom kilogramu materije za prelazak u iz krutog agregatnog stanja u tekuće agregatno stanje, odnosno količina toplinske energije koju ista količina materije oslobodi prilikom prelaska iz tekućeg agregatnog stanja u kruto agregatno stanje.

$$\mathbf{Q_t = L_t m}$$

Jednadžba 4

Q_t - specifična latentna toplina taljenja
m – masa tvari
Konstanta L_t ovisna je o vrsti tvari i nazivamo ju specifična toplina taljenja.
Jedinica za specifičnu toplinu isparavanja je $[L_t]=[Jkg]$.

Specifična latentna toplina isparavanja količina je toplinske energije koja je potrebna jednom kilogramu materije za prelazak iz tekućeg agregatnog stanja u plinovito agregatno stanje, odnosno količina toplinske energije koju ista količina materije oslobodi prilikom prelaska iz plinovitog agregatnog stanja u tekuće agregatno stanja.

$$\mathbf{Q_i = L_i m}$$

Jednadžba 5

Q_i - specifična latentna toplina isparavanja
m – masa tvari
Konstanta L_i ovisna je o vrsti tvari i nazivamo ju specifična toplina isparavanja.
Jedinica za specifičnu toplinu isparavanja je $[L_i]=[Jkg]$.

Vrenje je prelazak iz tekućeg u plinovito stanje na temperaturi vrelišta. To jest kad molekule dobiju dovoljno energije da probiju površinsku napetost.

Vrelište je temperatura pri kojoj voda počinje isparavati, a ovisi o tlaku pod kojim se vodena masa nalazi. Porastom tlaka raste vrelište i obrnuto.

Kipuća (vrela) voda je voda kod temperature vrelišta i dolazi do pojave mjehurića pare.

Isparavanje je proces prijelaza tvari iz tekućega u plinovito agregatno stanje, ali na nižim temperaturama od vrelišta. Unutar tekućine pri određenoj temperaturi molekule se gibaju određenom prosječnom brzinom odnosno kinetičkom energijom no neke molekule imaju veću, a neke manju brzinu od prosječne ovisi kako se sudare. Ako povisimo temperaturu povećat će se prosječna brzina molekula odnosno prosječna kinetička energija. Prilikom sudara može se dogoditi da poneka molekula dobije dovoljno energije da probije površinsku napetost i izađe van iz tekućine. Kada molekula izađe van ona odnosi dio energije sa sobom i unutrašnja energija se smanji te se sama tekućina hladi. Što je temperatura viša više će molekula izlaziti van odnosno brže će isparavati. Iznad

površine vode uvijek postoji sloj pare u kojemu molekule stalno isparavaju, ali se i kondenziraju, to jest ulaze u vodu. Uspostavit će se ravnotežno stanje. Da bi se povećali isparavanje trebamo maknuti sloj pare iznad površine. Zbog toga se mokro rublje bolje suši dok puše vjetar.

Mokra para je smjesa vode i pare.

Suhozasićena para je para kod koje ispari posljednja čestica vode, a temperatura je jednaka vrelištu te se volumen znatno povećao.

Pregrijana para je para s temperaturom većom od vrelišta kod istog tlaka, a nju dobijemo ako suhozasićenoj pari i dalje dovodimo toplinu odnosno ako je grijemo.

Pregrijana voda je voda koja ostaje u tekućem stanju iznad 100 °C na atmosferskom tlaku. To možemo postići s destiliranom vodom. Kada takva voda počne isparavati tlak vodne pare naglo poraste. To se može dogoditi u kotlovima u kojima se voda često prokuhava pa ostane bez kisika i voda se pregrije. Kad voda počinje vrijeti tlak se naglo poveća i kotao može eksplodirati. Zato se u kotlove stavlja pijesak.

Prvi zakon termodinamike

Toplina je oblik energije, te za toplinu vrijedi zakon očuvanja energije. Ako neki sustav vrši rad i dovedena mu je toplina , zakon očuvanja energije i dalje vrijedi. Stoga je ta energija sadržana u sustavu u konačnom stanju, u obliku koji nazivamo unutarnja energija U.

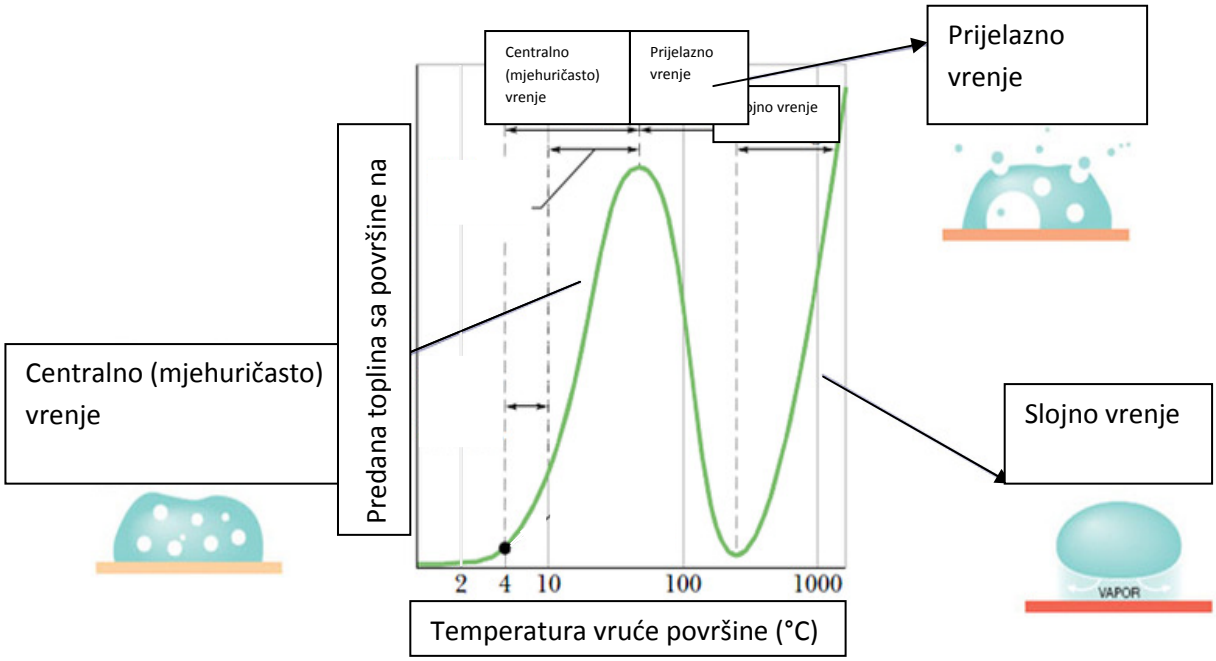
Ovaj zakon simbolički se može zapisati kao:

$$\Delta U = Q - W.$$

Jednadžba 6

4 Ponašanje vode na zagrijanoj podlozi pri atmosferskom tlaku

Ponašanje vode na zagrijanoj podlozi pri atmosferskom tlaku



Slika 1 - ponašanje kapljica vode na podlogama različitih temperatura pri atmosferskom tlaku

LEIDENFROSTOV UČINAK

Kada kapljicu vode kapnemo na vruću površinu kapljica neće odmah ispariti, već će „plesati“ po površini. Temperatura na kojoj se to počinje događati zove se Leidenfrostova temperatura. Ta pojava nastaje zbog tankog sloja pare između kapljice i ploče. Zbog niske toplinske vodljivosti pare odgađa se vrenje tekućine. Ista pojava se može uočiti pri izlijevanju tekućeg dušika na neku površinu sobne temperature.

Leidenfrostova temperatura ovisi o veličini kapljice, nečistoćama u vodi, dodirnim površinama i tlaku. Teško ju je odrediti, ali za malu kapljicu efekt može početi oko 200 °C.

Ako je temperatura neznatno manja od Leidenfrostove temperature voda vrije i mjehurići pare će raspršiti kapljicu.

Ako je temperatura tek nešto viša od temperature vrelišta voda će normalno ispariti.

Naša opažanja ovog efekta:

Slika 2 prikazuje kapljicu vode na podlozi temperature oko 98 °C te voda vrije

Slika 3 prikazuje kapljicu vode na podlozi temperature oko 200 °C te se čini da kapljica vode eksplodira i rastavlja se na više manjih kapljica

Slika 4 prikazuje kapljicu vode na podlozi temperature oko 320 °C te se čini da kapljica vode lebdi nad podlogom

4 EKSPERIMENT

Mjerenje 1

Mjerenje smo radili tako da smo tikvicu spojili sa fleksibilnom cijevi sa rezervoarom vode u kojem je bila menzura koja je sakupljala ispušteni zrak (Slika 5 prikazuje pokus mjerenja širenja pare pri nekoj temperaturi).

Tikvicu smo postupno zagrijavali. Zbog isparavanja vode u tikvici je nastajala para koja je istiskivala zrak. Mjerili smo temperaturu u tikvici i količinu istisnutog zraka za tu temperaturu.Tlak je bio konstantan i bio je jednak atmosferskom tlaku.U tikvici je bila smjesa zraka i vodene pare. Već na sobnoj temperaturi imamo tlak para, ali on nije veliki i možemo ga zanemariti. U tikvici je atmosferski tlak p_a, volumen tikvice je V_t, T_1 je sobna temperatura. Količina zraka n_{z1} u tikvici na sobnoj temperaturi biti će:

$$n_{z1} = \frac{p_a V_T}{RT_1}$$

Jednadžba 7

Kako svaki plin daje svoj udio u tlaku, a tlak pare pri određenoj temperaturi je isti, dobijemo da je atmosferski tlak u tikvici:

$$p_a = p_{v2} + p_{z2}$$

Jednadžba 8

p_{v2} je tlak pare, a p_{z2} je tlak zraka u tikvici pri temperaturi T_2. Jednadžba stanja plina biti će:

$$(p_{v2} + p_{z2})V_T = (n_{v2} + n_{z2})RT_2$$

Jednadžba 9

n_{v2} je količina vodene pare, a n_{z2} količina zraka u tikvici na temperaturi T_2.

Iz jednadžbe (3) dobijemo da je tlak zraka u tikvici:

$$p_{z2}V_T = n_{z2}RT_2$$

Jednadžba 10

Količina zraka u tikvici biti će:

$$n_{z2} = \frac{(p_a - p_{v2})V_T}{RT_2}$$

Jednadžba 11

Volumen zraka koji je ušao u menzuru:

$$\Delta V = \frac{n_{zM} R T_1}{p_a}$$

Jednadžba 12

n_{zM} je količina zraka u menzuri:

$$n_{zM} = n_{z1} - n_{z2}$$

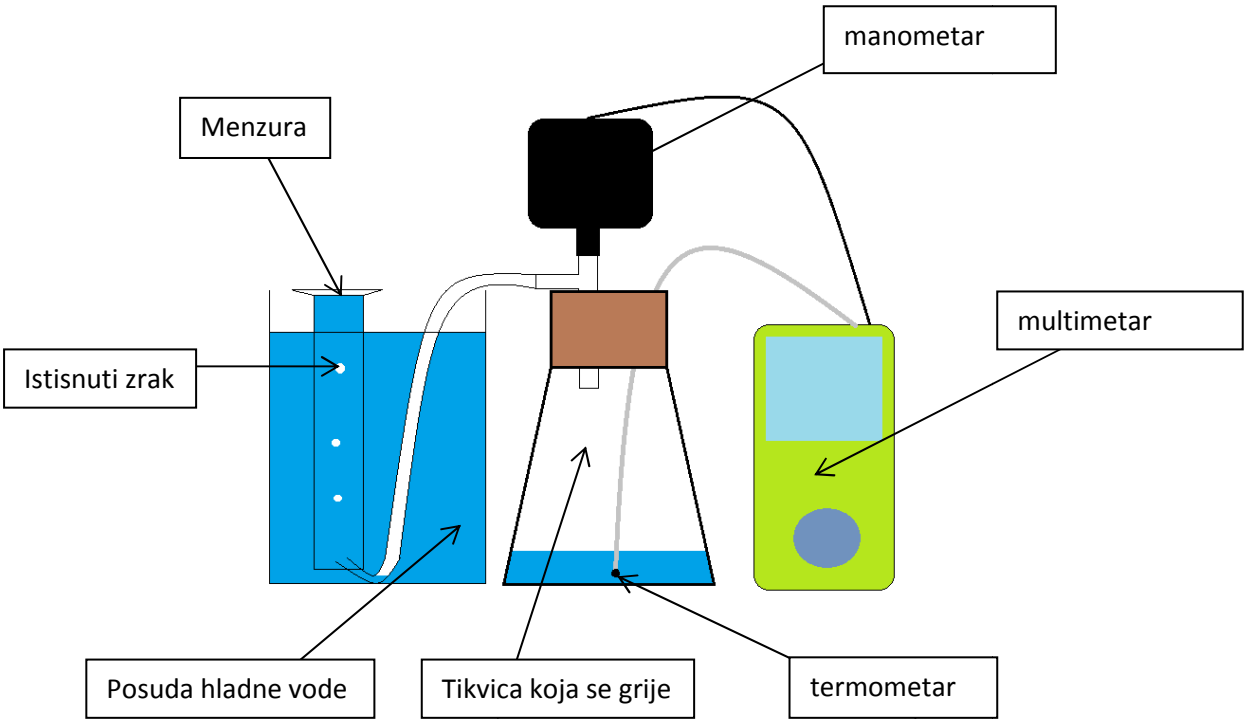
Jednadžba 13

Iz jednadžbe 7, 1, 2 i 6 dobijemo koliki je tlak vodene pare pri određenoj temperaturu u tikvici:

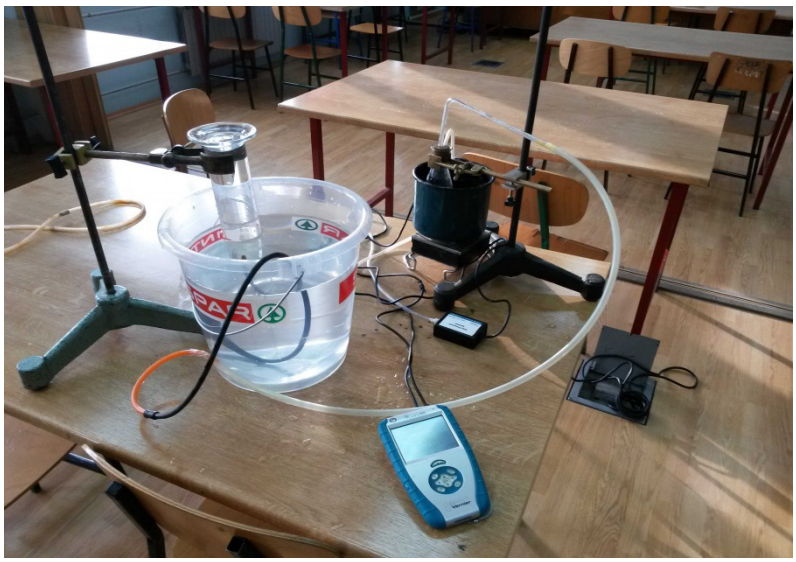
$$p_{v2} = p_a \left[1 - \frac{T_2}{T_1} \left(1 - \frac{\Delta V}{V_T} \right) \right]$$

Jednadžba 14

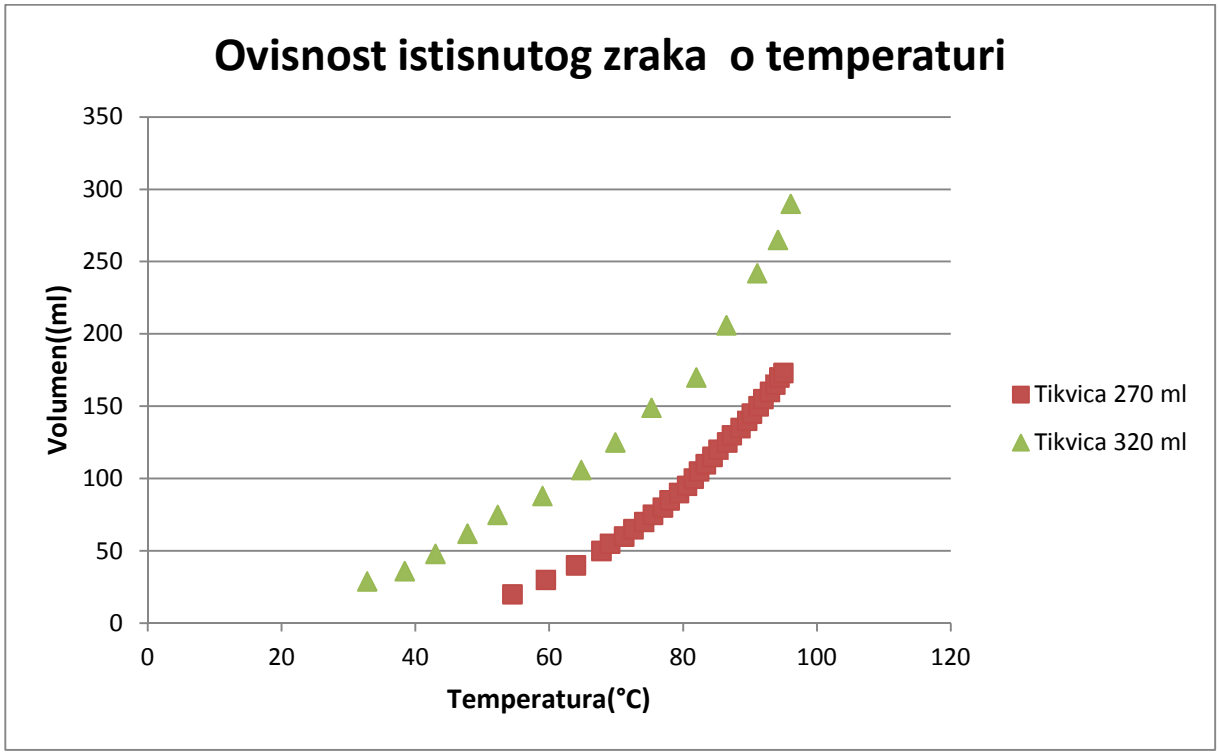
Manometrom smo mjerili tlak, a termočlankom temperaturu u tikvici. .
Kod mjerenja samo koristili 2 različite Erlenmajerove tikvice (270 ml i 370 ml).
U svojim mjerenjima željeli smo usporediti teorijske podatke s onima dobivenima iz mjerenja.



Slika 5 prikazuje pokus mjerenja širenja pare pri nekoj temperaturi



Slika 6 prikazuje kako smo izveli pokus mjerenja tlaka pare



Slika 7 prikazuje ovisnost istisnutog zraka o temperaturi

Kinetička energija molekula na površini mora biti veća od energije isparavanja U_o da bi molekula mogla izaći iz tekućine. To se događa i pri temperaturama manjim od temperature

vrenja gdje molekule slučajno pri sudarima dobiju tu energiju. Vjerojatnost isparavanja biti će:

$$w = e^{-\frac{u_o}{kT}},$$

Jednadžba 15

gdje je k Boltzmanova konstanta, a T termodinamička temperatura. U zatvorenoj posudi nastat će zasićene pare čiji tlak i gustoća ne ovise o volumenu posude, niti o količini vode u posudi već ovise samo o temperaturi:

$$\rho = Am_o T^{\alpha} e^{-\frac{u_o}{kT}}$$

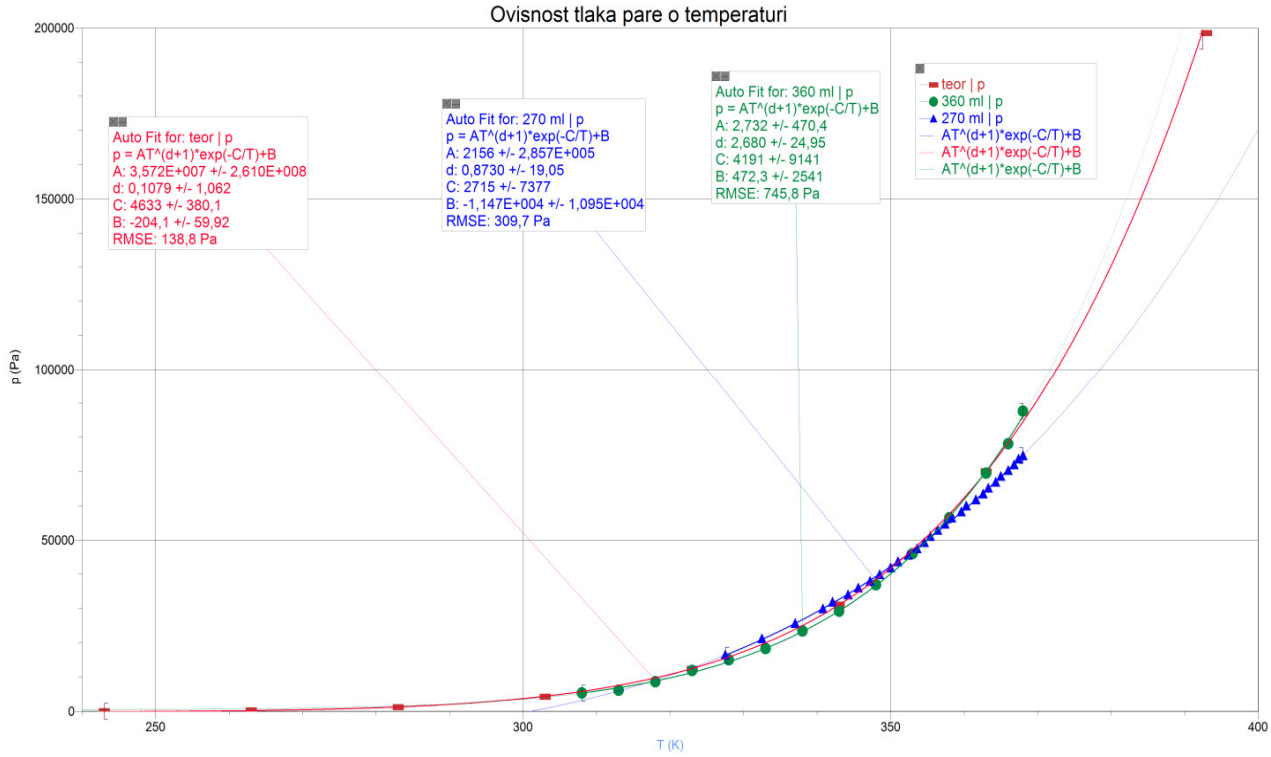
Jednadžba 16

$$p = AkT^{\alpha+1} e^{-\frac{u_o}{kT}}$$

Jednadžba 17

ρ - gustoća zasićenih para, m_o – masa molekule, A – konstanta koja ovisi o vrsti tvari, $\alpha \approx 1/2$

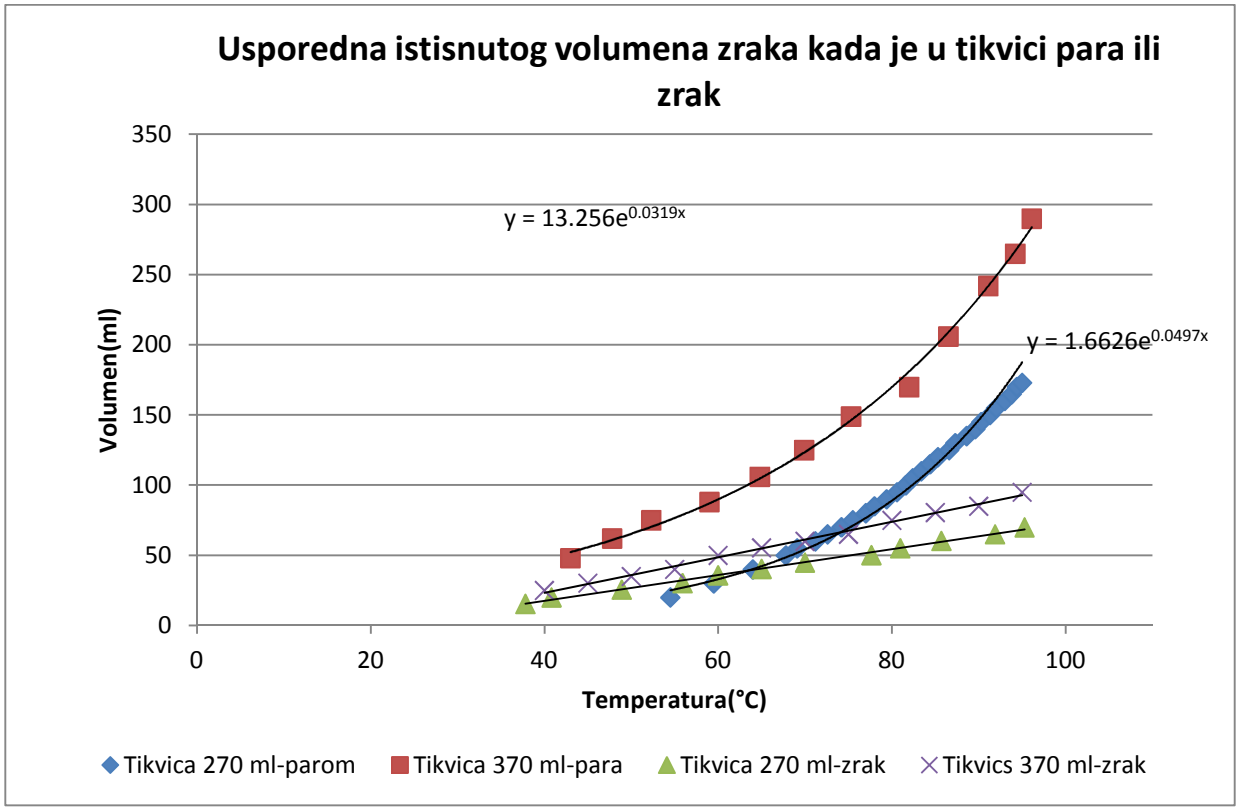
Tlak i gustoća ovise eksponencijalno o temperaturi kod zasićenih para, za razliku od zraka gdje ovise linearno.



Slika 8 prikazuje ovisnost tlaka pare o temperaturi na kojoj se nalaze naša mjerenja

Iz grafa vidimo da nam se eksperimentalni podaci mjerenja tlaka pare podudaraju sa teorijskim vrijednostima, odnosno da tlak pare raste eksponencijalno s temperaturom. Tlak

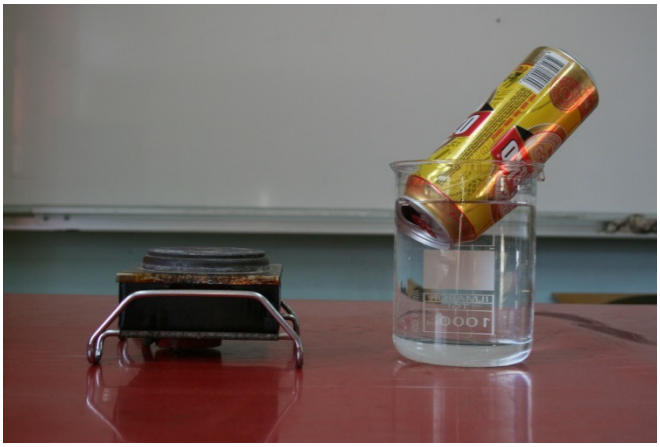
para na 100 °C jednak je atmosferskom tlaku da bi već na 120 °C bio jednak dvostrukom atmosferskom tlaku, a na 180°C bio 10 puta veći od atmosferskog tlaka.



Slika 9 prikazuje istisnutu količinu zraka iz tikvice u slučaju kada je u tikvici bila voda i kada je u tikvici bio samo zrak. Istisnuti volumen zraka proporcionalni je parcijalnom tlaku zraka odnosno pare.

Mjerenje 2

Često se krivo tumači pokus gdje se prazna otvorena limenka zagrije na kuhalu i naglo zaroni s otvorom prema dolje u vodu. Najčešće bi se limenka stisnula. To se tumačilo tako da je zrak izašao iz limenke jer se zagriao i hlađenjem temperatura zraka se smanjila, a zbog manje koncentracije molekula tlak unutar limenke se smanjio s obziorm na atmosferski. Međutim ponekad taj pokus ne bi uspjevao. Radi se o tome da bi se prije pokusa istočila tekučina i odma bi se radio pokus. Međutim ostalo je tekučine koja je isparila i istisnula zrak iz limenke. Kada bi limenku uronili u hladnu vodu s otvorom prema dolje pare bi se ohladile i kondenzirale se. Tlak bi bio puno manji od atmosferskog i limenka bi se stisnula. Kada je limenka bila suha pokus nije uspjevao jer je razlika u tlakovima bila premala. Taj pokus je na neki način uspio jer s vremenom kako se limenka hladila tako je pomalo tonula u vodu jer je manjak istisnutog zraka nadomještavala voda.

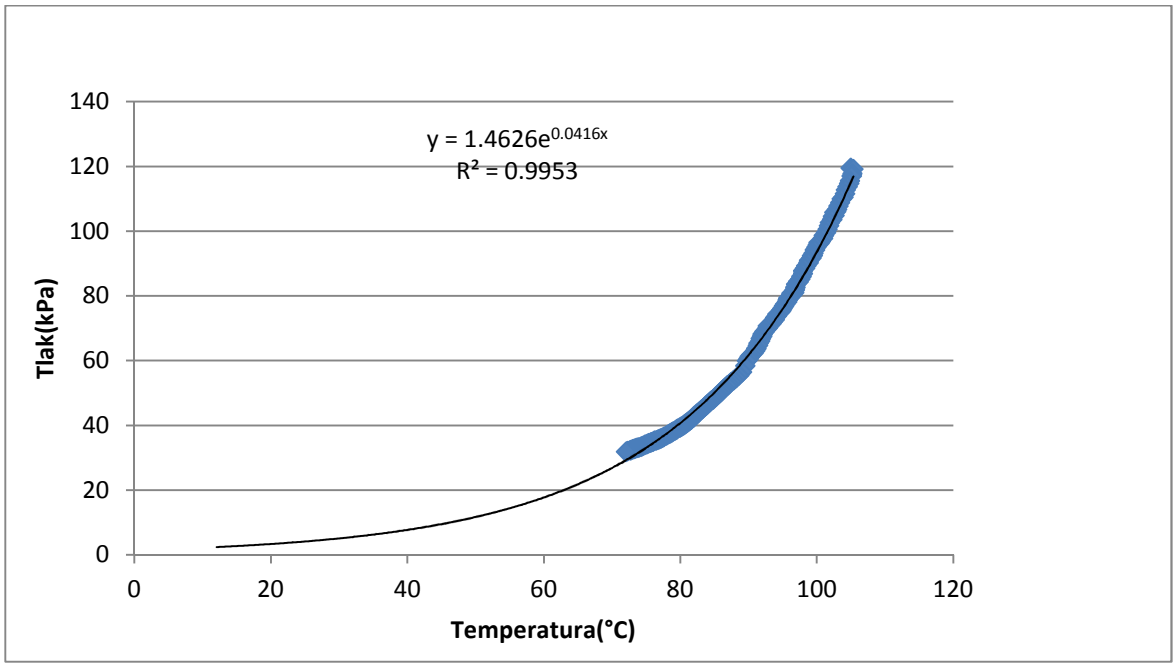


Slika 10 i 11 prikazuju zagrijavanje prazne limenke te njezino uranjanje u hladnu vodu

Slika 12 i 13 prikazuju zagrijavanje limenke sa malo vode na dnu te njezino uranjanje u hladnu vodu

U ovom mjerenju htjeli smo pokazati koliki tlak nastane kad se para ohladi na sobnu temperaturu uzeli smo okruglu tikvicu s malo vode i zagrijavali je tako dugo dok voda nije ishlapila. Zatim smo začepili tikvicu i pustili da se hladi. Mjerili smo tlak u tikvici i temperaturu.Ovisnost tlaka i temperature prikazana je na slici 15.

Slika 14 prikazuje mjerenje s okruglom tikvicom



Slika 15 prikazuje ovisnost tlaka i temperature u tikvici kada se tikvica hladi. Vidimo da je na 70 °C tlak već 30 kPa

Hladili smo tikvicu i sa snijegom i dobili smo na temperaturi 0,6 °C tlak od 1,03 kPa

5 Zaključak

Mjerenjima samo pokazali postojanje para na nižim temperaturama od vrenja i da tlak pare raste eksponencijalno s temperaturom zbog toga što para nije idealni već realni plin jer kod idealnih plinova raste linearno. Također samo pokazali da pokus sa limenkom je krivo tumačen i da implozije limenke nastaju zbog kondenzacije vodene pare u limenci. Već na 70 °C tlak je tri pita manji od atmosferskog, a blizu nule sto puta manji.

6 LITERATURA

Osnove fizike; B. M. Javorskij i A. A. Pinskij

Fizika 2 dio; Valno gibanje, zvuk i toplina; Branko Đurić i Živojin Ćulum

Wikipedija