

Adsorpcijske izoterme

Katić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:109:035448>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**

REPOZITORIJ

PTF

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO – TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE

Luka Katić

Adsorpcijske izoterme

završni rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE J. J. STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE

Završni rad

Adsorpcijske izoterme

Nastavni predmet

Fizikalna kemija

Predmetni nastavnik: izv. prof. dr. sc. Lidija Jakobek

Student/ica: Luka Katić

(MB: 3752/13)

Mentor: izv. prof. dr. sc. Lidija Jakobek

Predano (datum):

Pregledano (datum):

Ocjena:

Potpis mentora:

Naslov: Adsorpcijske izoterme

Sažetak: Adsorpcijske izoterme su grafički prikazane ovisnosti volumena/mase adsorbirane tvari na adsorbensu i primijenjenog tlaka (koncentracije, mase) tvari koja se adsorbira. Taj odnos je karakterističan za svaku temperaturu te se zbog toga grafičke ovisnosti nazivaju izoterme. Linija koja povezuje vrijednosti u grafu pri istoj temperaturi naziva se adsorpcijska izoterma. Poznate su Freundlichova, Langmuirova, Dubinin-Radushkevicheva i mnoge druge izoterme. Adsorpcijske izoterme služe za bolje razumijevanje procesa adsorpcije i učinaka adsorpcije pri različitim temperaturama. U ovom radu cilj je bio opisati svojstva adsorpcije, Freundlichovu, Langmuirovu i Dubinin-Radushkevichovu adsorpcijsku izotermu te tipove adsorpcije.

Ključne riječi: adsorpcija, adsorpcijska izoterma, Freundlich, Langmuir, Dubinin-Radushkevich, tipovi izotermi

Title: Adsorption isotherms

Summary: Adsorption isotherms are graphically shown relations between the volume/mass of adsorbed substance on the surface of the adsorbent and the pressure (concentration, mass) of substance that is adsorbed. That relation is a characteristic of every temperature and that is the reason why it is called isotherm. A curve connecting the values of the same temperature on the graph is an adsorption isotherm. Freundlich, Langmuir, Dubinin-Radushkevich isotherm and many other are known. Adsorption isotherms are used for the better understanding of the adsorption processes and their effects at different temperatures. The purpose of this work was to describe adsorption process, to understand Freundlich, Langmuir and Dubinin-Radushkevich adsorption isotherm and adsorption types.

Keywords: adsorption, adsorption isotherms, Freundlich, Langmuir, Dubinin-Radushkevich, adsorption types

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Glavni dio	2
2.1. Adsorpcija	2
2.2. Svojstva adsorpcije	3
2.2.1 Fizikalna adsorpcija	4
2.2.2 Kemijska adsorpcija.....	4
2.2.3 Ionska adsorpcija	4
2.3.1 Freundlichova adsorpcijska izoterma	5
2.3.2 Langmuirova adsorpcijska izoterma	7
2.3.3 Dubinin-Radushkevicheva adsorpcijska izoterma	9
2.4. Podjela izotermi po IUPAC-u.....	10
2.4.1 Adsorpcijska izoterma tip 1.....	11
2.4.2 Adsorpcijska izoterma tip 2	11
2.4.3 Adsorpcijska izoterma tip 3.....	11
2.4.4 Adsorpcijska izoterma tip 4.....	12
2.4.5 Adsorpcijska izoterma tip 5.....	12
2.4.6 Adsorpcijska izoterma tip 6.....	12
3. Zaključak	13
4. Literatura	14

1. Uvod

Adsorpcija je jedan od fizikalno-kemijskih procesa kojim se čestice iz plinovite faze ili otopljene čestice iz otopine vežu, bilo fizikalnim silama ili kemijskim vezama, za površinu neke čvrste tvari. Kada se govori o adsorpciji, onda čestice plinovite faze ili otopljene čestice iz otopine, koje se vežu na neku krutu tvar, nazivamo adsorbat. Krute tvari na koju se vežu te čestice nazivaju se adsorbensi. Prilikom proučavanja adsorpcije u suštini se proučava volumen adsorbiranih čestica plina ili koncentracija adsorbiranih otopljenih čestica iz otopine, površina koju te čestice zauzimaju na adsorbensu, ovisnost tih parametara o temperaturi i tlaku te samih karakteristike adsorbata i adsorbensa. Ovisnost svih ovih veličina i karakteristika može se proučavati pomoću adsorpcijskih izoterma gdje je u odnos stavljena količina adsorbiranih čestica i koncentracija / tlak koji je primijenjen prilikom adsorpcije na različitim temperaturama.

Adsorpcija je vrlo bitan proces, te je kao takav i upotrebljavan u različite svrhe. Neka od područja u kojima se koristi ovaj proces, bilo kao dio neke veće operacije ili kao pojedinačni zahvat, jesu tehnologija obrade vode, pročišćavanje čestica prilikom kemijske analize, adsorpcija opasnih plinova itd.

Upravo zbog tolike upotrebe ovoga procesa potrebno je razumijevanje istoga. Mora se znati koja je vrsta adsorpcije, koji su uvjeti adsorpcije te pri kojim temperaturama i tlakovima je ovaj proces najučinkovitiji i zašto. Isto tako potrebno je znati kako kemijska i fizikalna svojstva tvari koja sudjeluju u procesu utječu na proces adsorpcije. Znanstvenici su uspjeli dovesti u relaciju najvažnije veličine prilikom adsorpcije te su uspjeli pojasniti prirodu adsorpcije. Pomoću njihovih formula su napravljene izoterme s kojih se mogu očitavati određene ovisnosti. U ovom radu opisan će se Freundlichova, Langmuirova i Dubinin-Radushkevicheva adsorpcijska izoterma te će se objasniti njihova značenja, jednadžbe te koji tip adsorpcije opisuju.

2. Glavni dio

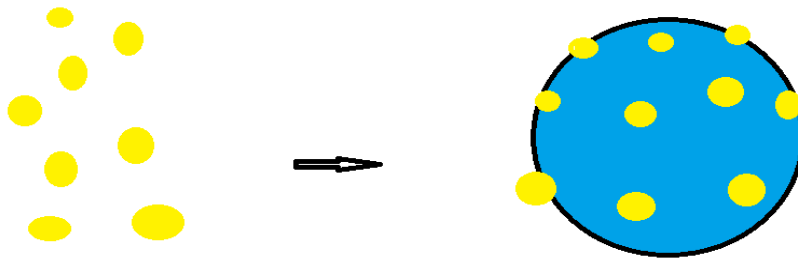
2.1. Adsorpcija

Prilikom istraživanja heterogene ravnoteže s aspekta GIBSSOVA ZAKONA promatraju se dvije faze koje se nalaze u tome heterogenom sustavu kao potpuno homogene faze odnosno faze koje u svakome svom dijelu imaju jednak sastav. No u stvarnosti nije takav slučaj. Naime, na granici dva homogena sloja ili dvije faze nalazi se granično područje. Granično područje se po svome sastavu razlikuje od obje faze. Debljina graničnoga sloja rijetko prelazi red veličina dimenzija molekule i rezultat je utjecaja sila na graničnim površinama koje su određene prirodom i sastavom faza koje se međusobno dodiruju (Brdička, 1969).

Upravo zbog tih sila na površini dvaju faza moguće je da je jedna faza koncentriranija u tom graničnom prostoru nego u unutrašnjosti te faze. Dakle, koncentracija otopljene tvari u graničnom sloju faza može biti veća nego u unutrašnjosti faze te se kaže da je ta tvar adsorbirana (Đorđević i Dražić, 1987).

Da bi se razumjela adsorpcija na čvrstoj površini, mora se spomenuti što se to događa na samoj površini te čvrste tvari i na površini otopine ili plina. Jednostavnije rečeno mora se razumjeti što se to događa na samom graničnom području faza. Molekule na površini faza nisu okružene s drugim molekulama te faze kao što je slučaj u unutrašnjosti faza, nego su okružene molekulama druge faze s jedne strane, a s druge strane molekulama faze koje su i same dio. Može se reći da molekulske sile molekula na površini nisu zasićene. Da bi čvrsta tvar na svojoj površini uravnotežila sile, veže molekule iz otopine ili plina na svoju površinu (Slika 1). Tako prilikom dodira čvrste tvari odnosno adsorbensa s molekulama plina ili molekulama i ionima iz otopine, dolazi do povećanja koncentracija molekula plina ili iona iz otopine na graničnoj površini, odnosno dolazi do adsorpcije na površini čvrste tvari. S obzirom na jačinu sila koje se događaju prilikom adsorpcije i promjena entalpije, odnosno na način koji se molekule adsorbiraju na površinu adsorbensa postoje tri tipa adsorpcije: fizikalna, kemisorpcija i električna adsorpcija (Đorđević i Dražić, 1987).

Primjeri korištenja adsorpcije jesu korištenje aktivnoga ugljena kao adsorbensa prilikom tehnologija obrade vode, adsorpcija otrovnih plinova, adsorpcija korisnih para, u analitičkoj kemiji, metalurgiji itd.



Slika 1 Adsorpcija na površini čvrste tvari:

Najpoznatiji adsorbensi su (Brdička, 1969) :

- Aktivni ugljen (npr. pougljenjeno i aktivirano drvo, pougljenjene ljuske kokosovih oraha i sl). (Slika 2)
- Zeoliti
- Sitno zrnati oksidi metala (npr. Al_2O_3 , Cr_2O_3 , ZnO itd.)



Slika 2 Aktivni ugljen http://ladylike.hr/upload_data/ckeditor/Active-Carbon.jpg

2.2. Svojstva adsorpcije

Adsorpcija je egzoterman proces te za nju molarna entalpija ima negativnu vrijednost. Vrijedi i pravilo da se plin više adsorbira što ga je lakše pretvoriti u tekućinu tj. što je kritična temperatura plina viša. Dakle, plin se lakše adsorbira što ga je lakše kondenzirati (Đorđević i Dražić, 1987). U pogledu pritiska i površine vrijedi da je adsorpcija veća što je pritisak veći,

isto vrijedi i za površinu. Ako se gleda kocka duljine stranice 1 cm ta kocka ima površinu 6 cm², no ako se kocka podijeli na puno sitnih kockica duljina stranica 1 μm tada se dobije dodirna površina od 60 000 cm² i jasno je da je adsorpcija bolja. Prema prirodi sila koje zadržavaju adsorbirane čestice na površini krute faze razlikuju se fizikalna, kemijska i električna ili ionska adsorpcija (Brdička, 1969).

2.2.1 Fizikalna adsorpcija

Za fizikalnu adsorpciju karakteristična je promjena entalpije manja od 40 kJ mol⁻¹ (Đorđević i Dražić, 1987). Odvija se na temperaturama koje su ispod temperature ključanja adsorbata. Količina adsorbirane tvari je u većem dijelu u ovisnosti od adsorbata. Fizikalna adsorpcija se zasniva na Van der Waalsovima silama koje su karakteristične prilikom kondenzacije plinova. Što je lakša kondenzacija odnosno što je lakše ukapljivanje plina, adsorpcija je veća.

2.2.2 Kemijska adsorpcija

Za kemijsku adsorpciju karakteristična je promjena entalpije veća od 85 kJ mol⁻¹, a količina adsorbirane tvari ovisi i o svojstvima adsorbensa i o svojstvima adsorbata te može zahtijevati određenu energiju aktivacije (Đorđević i Dražić, 1987). Prilikom kemisorpcije stvara se monosloj adsorbiranih čestica, a između molekula adsorbensa i adsorbata stvaraju se kemijske veze. Kemijska adsorpcija se odvija pri višim temperaturama.

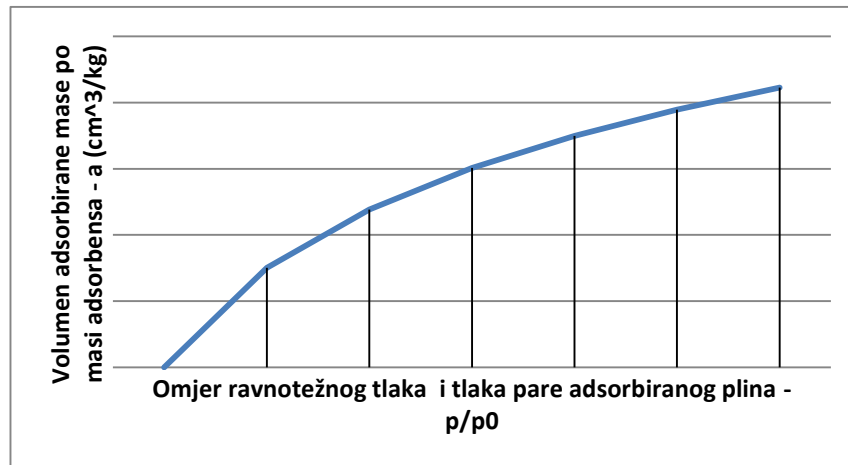
2.2.3 Ionska adsorpcija

Javlja se na elektrodama ili koloidima. Koloidne čestice pozitivno ili negativno nabijene na svojoj površini vežu neutralne molekule i ione. Karakteristična je za otopine (Brdička, 1969).

2.3. Adsorpcijske izoterme

Pri konstantnoj temperaturi između količine adsorbiranog plina na adsorbensu i ravnotežnog pritiska plina u sustavu, ili koncentracije plina, postoje određeni odnosi koji su opisani adsorpcijskim izotermama. Postoji šest tipova izoterma i kasnije će biti opisana svaka pojedinačno. Pogledom na grafove izoterma na ordinatama se može vidjeti: maksimalni adsorbirani volumen - V_{max} , volumen adsorbirane tvari po masi adsorbensa - a (cm³/kg), broj molova adsorbirane tvari - n_a , y/m gdje je y masa ili volumen adsorbirane tvari, a m masa adsorbensa itd (Đorđević i Dražić, 1987). U svakom slučaju ordinata zapravo predstavlja količinu adsorbirane tvari. Na apscisi se nalazi tlak na danoj temperaturi ili omjer

ravnotežnog tlaka i tlaka pare adsorbiranog plina u tekućem stanju (Đorđević i Dražić, 1987). Krivulja koja povezuje točke na grafu predstavlja izotermu odnosno sve točke iste temperature (slika 3).



Slika 3: Graf adsorpcijske izoterme.

Prilikom adsorpcije nakon nekog vremena uspostavlja se određena ravnoteža te je ta ravnoteža prikazana funkcijom $f(n_a, P, T) = 0$ (Brdička, 1969).

Pri mjerenju ravnoteže uvijek se jedna varijabla drži kao konstanta, ako se temperatura drži konstantnom onda se radi se o izotermi. Ako se radi o otopinama tada se tlak mijenja koncentracijom (c).

2.3.1 Freundlichova adsorpcijska izoterma

H. Freundlich opisao je ovisnost broja molova adsorbirane tvari na jedinici mase adsorbensa o tlaku empirijskom jednadžbom:

$$n_a = k p^{1/n} \text{ (Brdička, 1969).}$$

$$\text{ili } x/m = k p^{1/n} \text{ (Đorđević i Dražić, 1987).} \quad (1)$$

U ovoj jednadžbi k i n jesu konstante za tvar i adsorbens. Ove konstante su ovisne o temperaturi. Kao što se već prije spomenulo n_a je broj molova adsorbirane tvari, a p je tlak pri kojem se odvija adsorpcija. X/m predstavlja omjer adsorbirane tvari po masi adsorbensa. Freundlichova adsorpcijska izoterma karakteristična je za prvi tip adsorpcijskih izotermei odnosno za kemisorpciju. Isto tako Freundlichova jednadžba najbolje opisuje adsorpciju

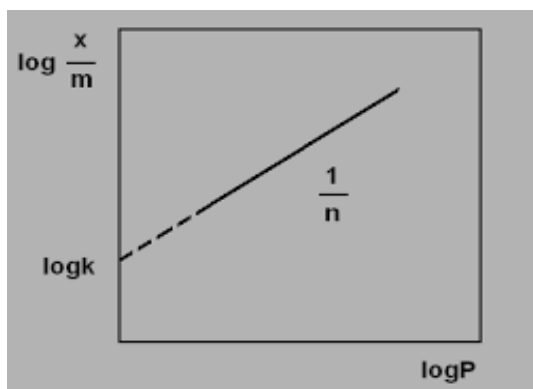
otopljenih tvari i u jednadžbi se umjesto tlaka koristi ravnotežna koncentracija otopljene tvari c (mol/dm^3) (slika 4).



Slika 4 Freundlichova adsorpcijska izoterma.

Na slici se vidi da u početku adsorpcije masa adsorbirane tvari porastom koncentracije brzo raste, te se poslije polako približava maksimalnoj masi adsorbiranih tvari na masu adsorbensa. Ista ova izoterma, dakle, vrijedi i za plinove gdje porastom koncentracije plina u početku adsorpcije raste i volumen adsorbiranih čestica plina na adsorbensu sve dok se ne približi maksimalnom volumenu. Tada je površina adsorbensa pokrivena slojem adsorbiranih molekula plina (Đorđević i Dražić, 1987). Logaritmiranjem jednadžbe (1) dobije se linearna zavisnost veličina u jednadžbi te je iz toga pravca lakše odrediti konstante i odrediti vrijednosti veličina (slika 5).

$$\frac{y}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log p \quad (2) \text{ (Đorđević i Dražić, 1987).}$$



Slika 5 Graf linearne ovisnosti Freundlichove jednadžbe

https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSu1QL4JHfadBsVks7_mLFz2ka-DRT3W257ISpK2e2WSXpWGqAI

Dakle, iz dijagrama može se dobiti k (odsječak na y osi) i nagib pravca $1/n$. Treba istaknuti da je Freundlichova izoterma samo jedan poseban slučaj opće izoterme koju je izveo Langmuir (Đorđević i Dražić, 1987) i čija će se izoterma spomenuti i objasniti u sljedećem potpoglavlju.

2.3.2 Langmuirova adsorpcijska izoterma

Langmuir je izveo jednadžbu adsorpcijske izoterme koja je savršenija od Freundlichove tj. općenitija je. Langmuirova adsorpcijska jednadžba je također karakteristična za prvi tip adsorpcijske izoterme od šest koliko ih ima i koje će se spomenuti u ovome završnom radu.

Naime, prema Langmuiru na površini adsorbensa adsorbat može načiniti samo jedan sloj i to debljine jednake dimenziji jedne molekule (Đorđević i Dražić, 1987). Dakle, adsorbens može načiniti samo monosloj na površini adsorbensa. Da bi se razumjela Langmuirova jednadžba, mora se shvatiti da se adsorpcija sastoji iz dva procesa koji se odvijaju u isto vrijeme. Jedan proces jeste adsorpcija plina na površinu adsorbensa odnosno kondenzacija čestica iz plinovite faze na adsorbens, a drugi proces je desorpcija koja predstavlja isparavanje čestica adsorbiranog plina sa adsorbensa. Po Langmuiru, adsorpcija će se dogoditi samo ako se čestica plina sudari sa slobodnom površinom adsorbensa. U početku, u dodiru adsorbensa s plinskom fazom ili otopinom, cijela površina adsorbensa je slobodna, te će se sve čestice koje se sudare sa adsorbensom adsorbirati. Nadalje, kako adsorpcija bude napredovala sve će manje biti slobodne površine na adsorbensu te će adsorpcija biti manja ,odnosno, adsorbirat će se samo one čestice koje se sudare sa slobodnom površinom. Dakle, brzina adsorpcije naglo raste u početku te poslije opada. Desorpcija se događa iz razloga što adsorbirane

molekule podliježu toplinskom kretanju, pa je moguće da adsorbirane molekule dobiju toliku kinetičku energiju da se ponovno vrate u plinovito stanje odnosno da se desorbiraju. Adsorpcija je veća što je više slobodne površine na adsorbensu pa je, suprotno tomu, desorpcija veća što je veća površina adsorbensa pokrivena adsorbiranim molekulama, odnosno, što je slobodna površina adsorbensa manja. Tako da se može vidjeti da kako adsorpcija teče, s vremenom ona opada, a desorpcija raste.

Nakon nekog određenog vremena, uspostavlja se ravnoteža odnosno broj molekula koje se adsorbiraju je jednak broju molekula koje se desorbiraju. Ako promatramo jedinicu površine adsorbensa, i da je θ dio te površine pokriven molekulama plina, tada je $1-\theta$ još slobodna površina adsorbensa. Po kinetičkoj teoriji broj udara molekula o čvrstu površinu proporcionalan je tlaku pa se može konstatirati da je brzina adsorpcije proporcionalna slobodnoj površini i pritisku.

$$\text{brzina adsorpcije} = k_1(1 - \theta) \cdot p \quad (3) \text{ (Đorđević i Dražić, 1987).}$$

U ovoj jednadžbi k_1 je specifična konstanta kondenzacije, odnosno adsorpcije. Brzina desorpcije proporcionalna je θ .

$$\text{brzina desorpcije} = k_2 \cdot \theta \quad (4) \text{ (Đorđević i Dražić 1987).}$$

Konstanta k_2 predstavlja konstantu brzine desorpcije. Kada se uspostavi ravnoteža tada su ove dvije jednadžbe izjednačene.

$$k_1 \cdot (1 - \theta) \cdot p = k_2 \cdot \theta \quad (5) \text{ (Đorđević i Dražić 1987).}$$

Kada se izrazi površina koju su zauzele molekule plina odnosno θ dobije se:

$$\theta = \frac{k_1 \cdot p}{k_2 + k_1 \cdot p} \quad (6) \text{ (Đorđević i Dražić 1987).}$$

Umjesto $\frac{k_1}{k_2}$ može se uvesti konstanta b koja ima značenje koeficijenta adsorpcije (Pa^{-1}). (Đorđević i Dražić, 1987).

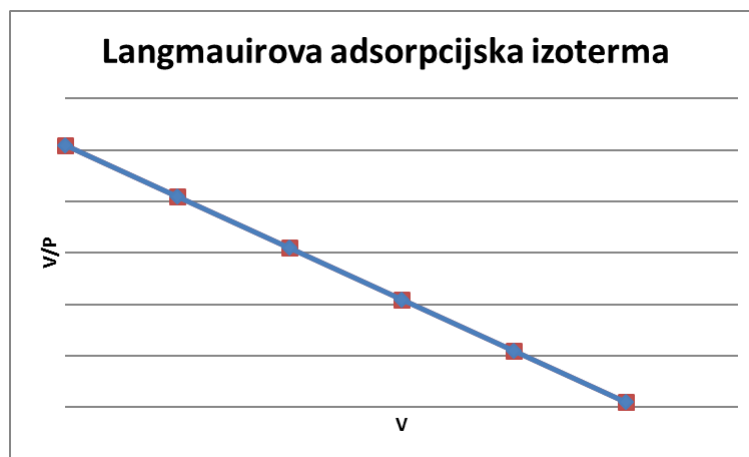
$$\theta = \frac{b \cdot p}{1 + b \cdot p} \quad (7) \text{ (Đorđević i Dražić, 1987).}$$

Pri velikim tlakovima vrijednost θ se približava jedinici, te se količina adsorbiranog plina približava V_{max} . Tada se može umjesto θ u jednadžbe staviti omjer volumena adsorbiranog plina i maksimalnog mogućeg volumena pri adsorpciji V/V_{max} .

$$V = \frac{V_{\max} \cdot b \cdot p}{1 + b \cdot p} \quad (8) \text{ (Đorđević i Dražić 1987).}$$

Jednadžba (8) predstavlja Langmuirovu adsorpcijsku izotermu. Konstanta b je karakteristična za svaki sustav pojedinačno. Kako bi se lakše iščitavale vrijednosti iz krivulje koja je napravljena na temelju dane jednadžbe, najbolje je zadanu jednadžbu prevesti u oblik u kojem pokazuje linearnu ovisnost zadanih veličina.

$$\frac{V}{p} = b \cdot V_{\max} - b \cdot V \quad (9)$$



Slika 6 Langmuirova adsorpcijska izoterma.

Graf na slici 6 predstavlja ovisnost V/p o V_{\max} i to je pravac s nagibom b , odsječak na osi y predstavlja umnožak $b \cdot V_{\max}$, a na osi x je vrijednost V_{\max} . Na početku i kraju adsorpcije moguća su odstupanja od linearnosti (Đorđević i Dražić, 1987) (slika 6).

2.3.3 Dubinin-Radushkevicheva adsorpcijska izoterma

Dubinin-Radushkevicheva adsorpcijska izoterma izvedena je iz tzv. potencijalne teorije adsorpcije, a autor je M. Polanyi (Brdička, 1969). Njegova teorija uzima u obzir da postoje privlačne sile koje su kratkog dometa i koje djeluju na površini molekula te vežu molekule plinova iz plinovite faze na površinu adsorbensa. Naime, u teoriji stoji da se u blizini površine pojavljuje tzv. adsorpcijsko potencijalno polje koje se unutar adsorpcijskog prostora može definirati određenom vrijednošću - ϵ . (Brdička, 1969).

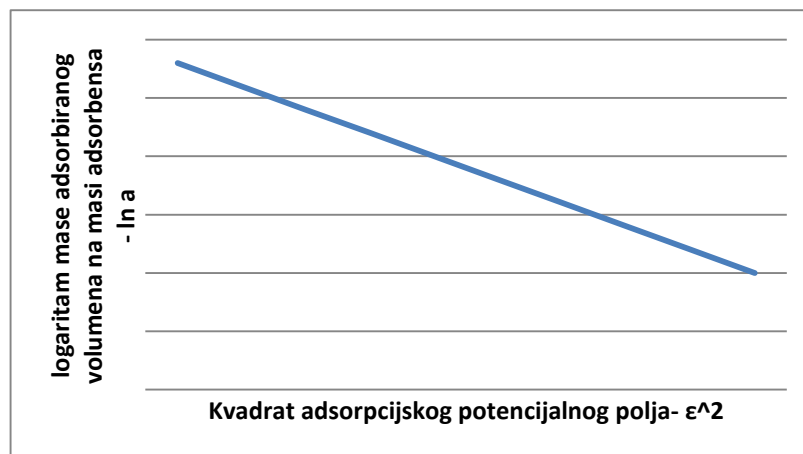
U ovoj teoriji adsorpcijski potencijal je definiran slobodnom energijom koja je u vezi s pretvaranjem 1 mola pare s ravnotežnog tlaka p_0 nad slobodnom tekućom fazom na p koji ta para ima prilikom zauzimanja adsorpcijskog prostora (Brdička, 1969).

$$\varepsilon = RT \ln \frac{p_0}{p} \quad (10)$$

R je opća plinska konstanta, T predstavlja temperaturu. Na površini adsorbensa postoje mjesta istog kemijskog potencijala koja tvore određenu površinu. Između te površine i površine adsorbensa pri određenom tlaku i volumenu nalazi se određen volumen adsorbiranog plina, pri čemu je taj volumen funkcija adsorpcijskog potencijala. Ova funkcija može se prikazati krivuljom koja je dana jednadžbom Dubinin-Raduskhevicheve izoterme.

$$v = v_0 \cdot e^{-k\varepsilon^2} \quad (11) \text{ (Brdička, 1969).}$$

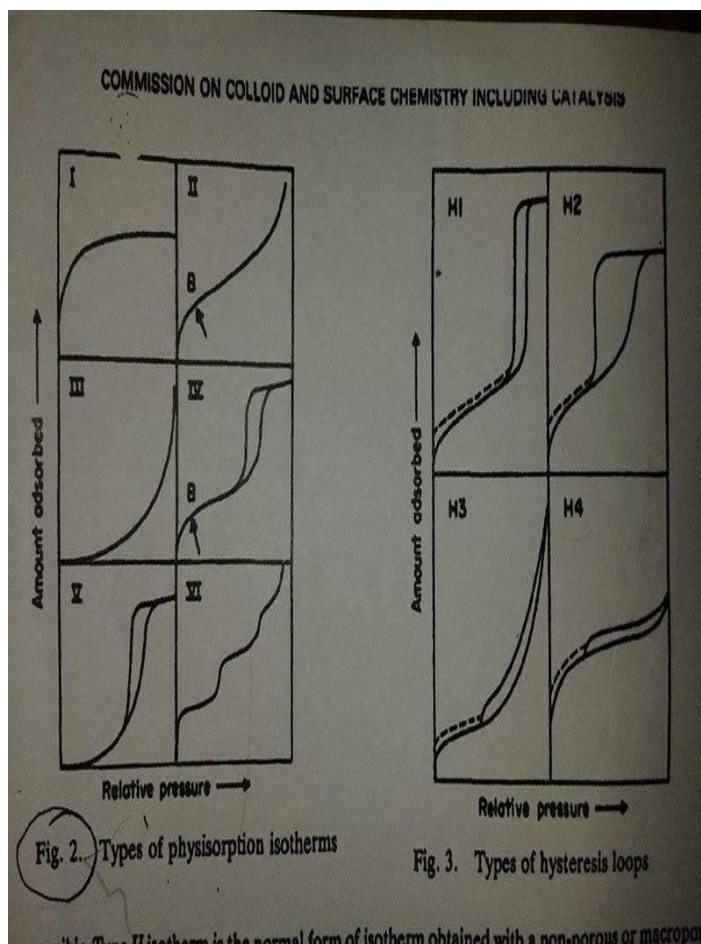
Ako se jednadžba linearizira dobije se linearna ovisnost veličina (slika 7):



Slika 7 Dubinin-Radushkevicheva adsorpcijska izoterma

2.4. Podjela izotermi po IUPAC-u

Količina plina koja je adsorbirana može biti izražena u bilo kojoj prigodnoj jedinici: molima, gramima i kubičnim centimetrima. Preporučeno je naime da se izražava molima po gramu adsorbensa (mol/g). Adsorpcijske izoterme se grafički prikazuju kao odnos adsorbirane količine (u mol/g ili g/g) i ravnoteže relativnog tlaka (p/p_0) (slika 8) (Sing, Everett, Haul, Moscou, Pierotti, Rouquerol, Siemienjewska, 1986)



Slika 8 Tipovi adsorpcijskih izoterma (Sing i sur, 1986).

2.4.1 Adsorpcijska izoterma tip 1

Graf ove izoterme je krivulja konkavna prema gore te kako se p/p_0 približava jedinici adsorbirana količina molekula približava se najvećim mogućim vrijednostima. Takve izoterme se mogu vidjeti kod mikroporoznih krutina s relativno malim vanjskim površinama kao što su: aktivni ugljen, zeoliti, i određeni porozni oksidi (Sing i sur, 1986).

2.4.2 Adsorpcijska izoterma tip 2

Karakterističan za neporozne ili za adsorbense s velikim porama. Graf ove izoterme nam prikazuje da se prilikom ovakvog procesa adsorpcije može načiniti monosloj, ali i višesloj na adsorbensu. Točka B na grafu pokazuje taj prijelaz iz monoslojne u višeslojnu adsorpciju (Sing i sur, 1986).

2.4.3 Adsorpcijska izoterma tip 3.

Graf ove izoterme je krivulja konveksna prema dolje. Ovakav tip izoterme baš i nije čest. Ali postoje neki sustavi adsorpcije (npr. dušik na polietilenu) koji daju krivulje sa postupnim zakrivljenostima i bez jasnoće prijelaza monoslojne u višeslojnu adsorpciju (Sing i sur, 1986).

2.4.4 Adsorpcijska izoterma tip 4

Za adsorpcijsku izotermu ovog tipa karakteristična je histerezna petlja koja se događa zbog kapilarne kondenzacije u mezoporama i ograničene adsorpcije u određenom rasponu visokih tlakova. Prije petlje ponaša se kao tip 2. Dakle ima točku B koja predstavlja jasan prijelaz iz monoslojne u višeslojnu adsorpciju (Sing i sur, 1986).

2.4.5 Adsorpcijska izoterma tip 5

Ovaj tip adsorpcije je netipičan, slična je tipu 3 u tome da su interakcije između adsorbensa i adsorbata male, ali se ovakva krivulja može dobiti kod nekih poroznih adsorbensa (Sing i sur, 1986).

2.4.6 Adsorpcijska izoterma tip 6

Predstavlja krivulju koja opisuje stepenastu višeslojnu adsorpciju na jednolikim neporoznim površinama. Svaka stepenica sada predstavlja kapacitet monoslojne adsorpcije za svaki sloj. U najjednostavnijem slučaju taj kapacitet ostaje konstantan za dva ili tri adsorbirana sloja. Najbolji primjeri ove adsorpcijske izoterme je adsorpcija argona ili kriptona na grafitnom ugljiku pri temperaturi tekućeg dušika (Sing, i sur, 1986).

3. Zaključak

- Adsorpcija je proces koji je vrlo bitan u u raznim granama industrije i raznim znanstvenim istraživanjima.
- Svojstva adsorpcije i sami tijek adsorpcije najbolje možemo vidjeti na adsorpcijskim izotermama.
- Adosrpcijske izoterme su grafički prikazane ovisnosti volumena/mase adsorbirane tvari na adsorbensu i primijenjenog tlaka (koncentracije, mase) tvari koja se adsorbira.
- Freundlichova, Langmuirova i Dubinnin-Radushkevicheva izoterma su vrste izoterma koji opisuju točno određene vrste adsorpcije i njihova svojstva.

4. Literatura

1. Brdička, R. Osnove fizikalne kemije, Zagreb, 1969. (459-481 str)
2. Dražić, V., Đorđević, S. Fizička hemija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1987. (445-460 str)
3. Sing, K. S. W., Everett, D. H., Haul, R.A.W., Moscou, L., Pierotti, R. A., Rouquerol, J., Siemieniewska, T. Reporting physisorption data for gas/solid systems, Pure and Applied Chemistry, 1985. 603-619.
4. Slika 2 http://ladylike.hr/upload_data/ckeditor/Active-Carbon.jpg
5. Slika 5 https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSu1QL4JHfadBsVks7_mLFz2ka-DRT3W257ISpK2e2WSXpWGqAl