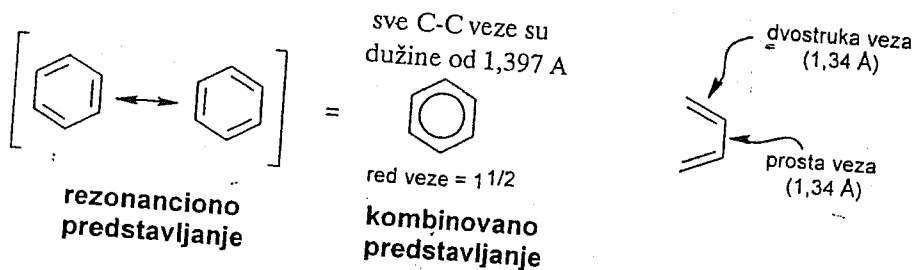


# AROMATIČNI UGLJOVODONICI

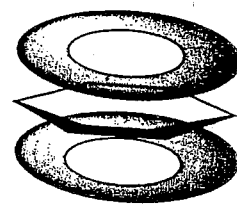
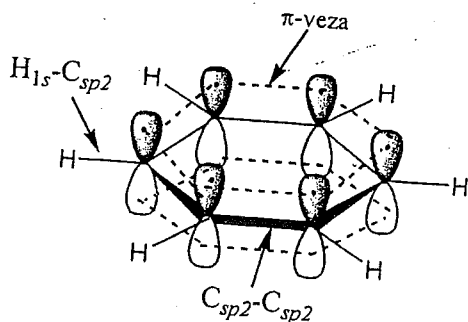
Aromatično jedinjenje je ciklično jedinjenje koje sadrži izvestan broj konjugovanih dvostrukih veza, a karakteriše se neuobičajeno velikom rezonancionom energijom.

Tipičan predstavnik aromatičnih ugljovodonika je **benzen**,  $C_6H_6$ . Ugljenik-ugljenik veze u benzenu su jednake dužine (1,397 Å), a prsten je planaran. Zbog toga što je prsten planaran, i zato što se ugljenikova jezgra nalaze na jednakim rastojanjima, dve Kekuleove strukture za benzen razlikuju se samo po položaju  $\pi$ -elektrona.

Benzen je, u stvari, rezonancijski hibrid dve Kekuleove strukture. Ovakvo predstavljanje benzena ukazuje da su  $\pi$ -elektroni delokalizovani, a da je red veze između susednih ugljenikovih atoma  $1\frac{1}{2}$ . Dužine ugljenik-ugljenik veza u benzenu su kraće od dužina prostih (jednostrukih) veza, ali su duže od dvostrukih veza.



Ova rezonancijski delokalizovana slika objašnjava većinu strukturalnih osobina benzena i njegovih derivata - benzenoidnih aromatičnih jedinjenja. Zbog toga što su  $\pi$ -veze delokalizovane preko prstena, češće ucrtavamo prsten (kružnicu) u šestougao nego što crtamo tri delokalizovane dvostruke veze. Ovaj način predstavljanja pomaže nam da ne zaboravimo da kod benzena nema lokalizovanih prostih i dvostrukih veza. Međutim, prilikom pisanja mehanizama reakcija, mi često upotrebljavamo Kekuleove formule jer se tako bolje prikazuje kretanje individualnih elektronskih parova.



aromatični  $\pi$ -oblak  
(potpuno preklapanje  
 $p$ -orbitala)

## ELEKTROFILNE AROMATIČNE SUPSTITUCIONE REAKCIJE

Aromatični ugljovodonici imaju opšti naziv **areni**. Aril-grupa se izvodi iz arena formalnim udaljavanjem vodonikovog atoma i njen simbol je **Ar-**. Tako se areni predstavljaju opštom formulom **ArH**, analogno tome kao što se alkani predstavljaju opštom formulom **RH**.

Najkarakterističnije reakcije benzenoidnih arena su **supstitucione reakcije** koje se vrše kada ovi reaguju sa elektrofilnim reagensima. Ove reakcije se u opštem slučaju mogu predstaviti na sledeći način:



Elektrofilne aromatične supstitucione reakcije omogućavaju nam da uvedemo različite grupe u aromatičan prsten. Tipične reakcije su one kojima se u aromatičan prsten uvode halogeni (-X), nitro-grupa (-NO<sub>2</sub>), sulfonska grupa (-SO<sub>3</sub>H), alkil-grupa (-R) i acil-grupa (-COR). Sve ove reakcije se vrše napadom elektron-deficitarne vrste - *elektrofila* - na benzenov prsten.

## OPŠTI MEHANIZAM ZA ELEKTROFILNU AROMATIČNU SUPSTITUCIJU

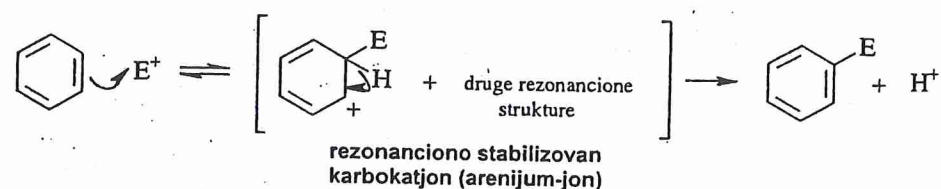
### Arenijum-joni

Neki elektrofil (E<sup>+</sup>) napada benzenov prsten jer su benzenovi π-elektroni istureni i u tom pogledu benzen podseća na alken. I kod alkena, elektrofilni napad se vrši na π-dvostruku vezu.

Međutim, benzen se ipak značajno razlikuje od alkena. Benzenov popunjeni sloj od šest π-elektrona daje mu posebnu stabilnost. I pored toga što je pogodan za elektrofilni napad, benzen pre podleže *supstitucionim*, a ne *adicionim reakcijama*. Supstitucione reakcije omogućavaju aromatičnom sekstetu π-elektrona da se regeneriše posle izvršenog elektrofilnog napada.

Mnogi eksperimentalni podaci ukazuju da napad elektrofila na π-sistem benzena dovodi do građenja **delokalizovanog nearomatičnog karbokatjona** poznatog pod nazivom **arenijum-jon** (ili ponekad i σ-kompleks).

U *prvom stupnju* elektrofil uzima dva elektrona iz π-sistema i gradi σ-vezu sa ugljenikovim atomom benzenovog prstena. Ovo narušava ciklični sistem π-elektrona, zbog čega u građenju arenijum-jona jedan ugljenikov atom postaje sp<sup>3</sup>-hibridizovan i tako više nema dostupnu p-orbitalu. Četiri preostala π-elektrona arenijum-jona su delokalizovana preko pet preostalih sp<sup>2</sup>-hibridizovanih ugljenikovih atoma.

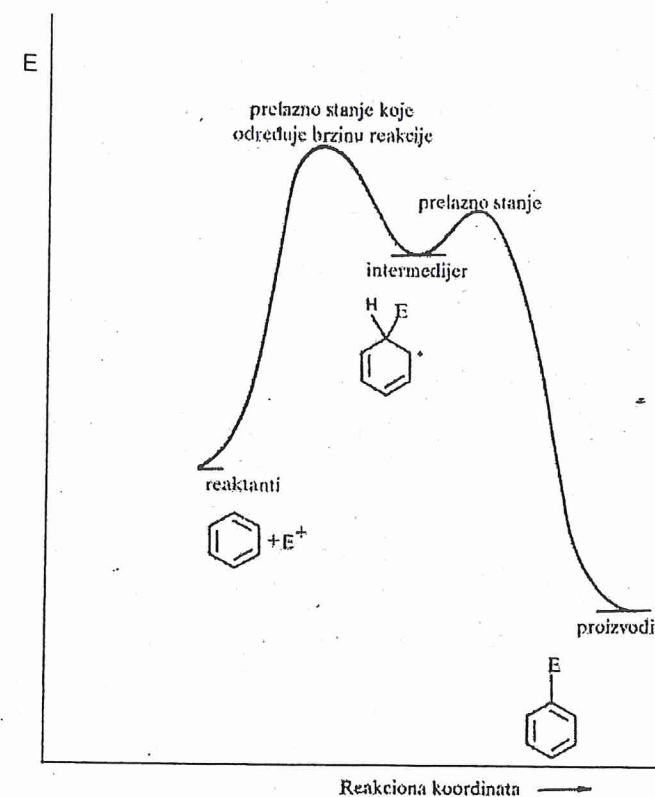


U *drugom stupnju*, arenijum-jon gubi proton sa ugljenikovog atoma za koji je bio vezan elektrofil, a dva elektrona kojima je vodonik vezan za ugljenik, postaju deo π-sistema. Ugljenikov atom, sada vezan za elektrofil, ponovo postaje sp<sup>2</sup>-hibridizovan i prsten ponovo postaje aromatičan. Oba stupnja ovog mehanizma mogu se predstaviti jednom od Kekuleovih formula za benzen. Ovaj način predstavljanja daje jasniji prikaz broja π-elektrona.

Upotrebom Kekuleove strukture takođe vidimo da je arenijum-jon hibrid tri rezonancione strukture *alilnog tipa*, od kojih svaka ima pozitivno naelektrisanje na ugljenikovim atomima koji su u *orto*- ili *para*-položajima u odnosu na mesto elektrofilnog napada.

Gubitak protona u drugom stupnju može se predstaviti jednom od rezonancionih struktura za arenijum-jon. Kada ovo učinimo, onda se jasno vidi da dva elektrona iz ugljenik-vodonik veze služe da se regeneriše prsten sa alternirajućim (naizmeničnim) prostim i dvostrukim vezama.

Postoje eksperimentalni dokazi da je arenijum-jon pravi intermedijer u elektrofilnim supstitucionim reakcijama, odnosno da se ne radi o prelaznom stanju. Ovo znači da na dijagramu potencijalne energije arenijum-jon leži na energetskej dolini između dva prelazna stanja.



Dijagram potencijalne energije za reakciju elektrofilne aromatične supstitucije

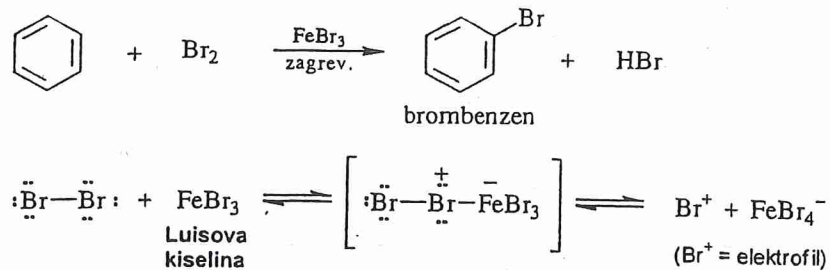
Prvi stupanj u elektrofilnoj aromatičnoj supstituciji - **građenje arenijum-jona**, određuje brzinu reakcije zbog toga što je to spora faza. Drugi stupanj - **eliminacija protona**, vrši se brzo u odnosu na 1. stupanj i nema uticaja na ukupnu brzinu reakcije.

## HALOGENOVANJE BENZENA

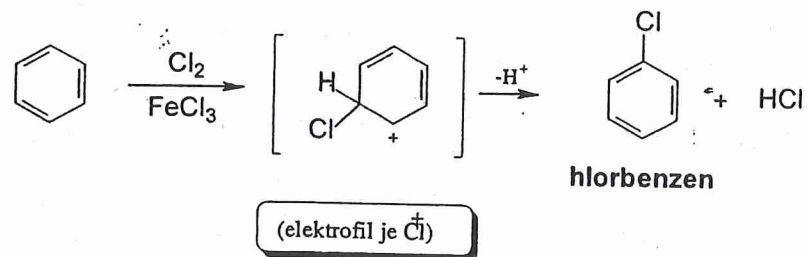
Benzen *ne reaguje* sa bromom i hlorom sve dok se u reakcionoj smesi ne nalazi neka Luisova kiselina. (Kao posledica ovoga, benzen *ne obezbojava* rastvor broma u ugljen-tetrahloridu.) U prisustvu Luisovih kiselina, benzen brzo reaguje sa bromom i hlorom, a reakcija daje brombenzen i hlorbenzen u dobrim prinosima. Luisove kiseline koje se najčešće upotrebljavaju za bromovanje i hlorovanje su FeCl<sub>3</sub>, FeBr<sub>3</sub> i AlCl<sub>3</sub>. Feri-hlorid i feribromid se obično generišu dodavanjem gvožđa direktno u reakcionu smesu. Gvožđe tada reaguje sa halogenom pri čemu nastaje ferihalogenid.

Uloga Luisove kiseline može se videti iz prvog stupnja. Feri-bromid reaguje sa bromom i proizvodi pozitivan jon broma, Br<sup>+</sup>, koji je elektrofil u ovoj reakciji, i FeBr<sub>4</sub><sup>-</sup>, čija je uloga da eliminiše proton iz σ-kompleksa.

• Bromovanje



• Hlorovanje



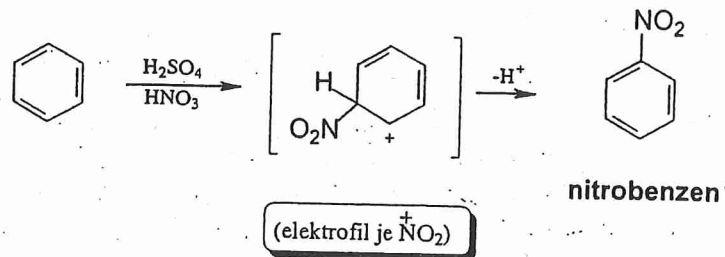
Fluor reaguje sa benzenom toliko brzo da aromatično fluorovanje zahteva specijalne tipove aparatura.

S druge strane, jod je veoma slabo reaktivan, usled čega se mora primeniti specijalna tehnika da bi se izvršilo direktno jodovanje.

NITROVANJE BENZENA

Benzen sporo reaguje s toplom koncentrovanom azotnom kiselinom i daje **nitrobenzen**. Reakcija je mnogo brža ako se izvodi zagrevanjem benzena sa smesom koncentrovane azotne kiseline i koncentrovane sumporne kiseline.

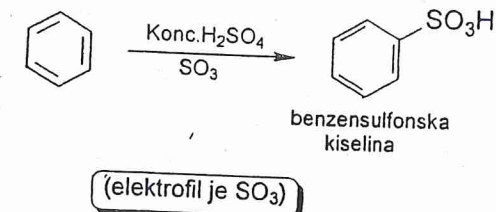
Koncentrovana sumporna kiselina ubrzava reakciju zbog toga što povećava koncentraciju elektrofila - *nitronijum-jona* (NO<sub>2</sub><sup>+</sup>). Nitronijum-jon reaguje sa benzenom napadajući njegov π-elektronski oblak i gradeći arenijum-jon. Arenijum-jon tada gubi proton i postaje nitrobenzen.



SULFONOVANJE BENZENA

Benzen reaguje s pušljivom sumpornom kiselinom na sobnoj temperaturi pri čemu se dobiva benzensulfonska kiselina. Pušljiva sumporna kiselina je koncentrovana sumporna kiselina koja sadrži sumpor-trioksid (SO<sub>3</sub>) u određenom procentnom sastavu. Sulfonovanje se

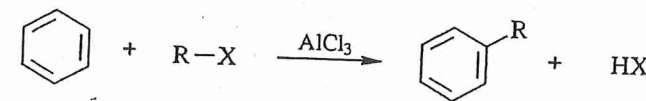
takođe vrši i u samoj koncentrovanoj sumpornoj kiselini ali znatno sporije. Smatra se da je u obe reakcije sumpor-trioksid elektrofilna vrsta.



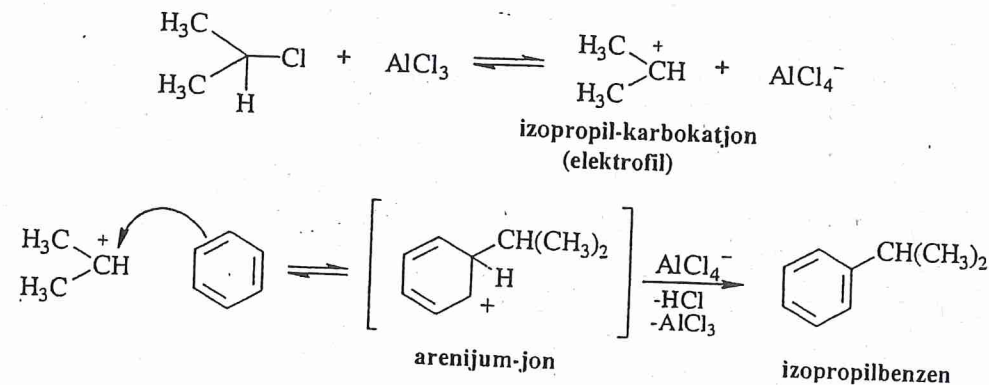
FRIEDEL-CRAFTS-OVO ALKILOVANJE

Francuski hemičar Charles Friedel i njegov američki kolega James M. Crafts, otkrili su 1877. godine nove metode za dobivanje alkilbenzena (ArR) i acilbenzena (ArCOR). Ove reakcije se sada nazivaju *Friedel-Crafts-ovo alkilovanje* i *acilovanje*.

Opšta jednačina za Friedel-Crafts-ovo alkilovanje se može prikazati na sledeći način:



Mehanizam reakcije (prikazan u sledećim stupnjevima sa izopropil-hloridom kao R-X) počinje gradeњem karbokatjona (*1. stupanj*). Karbokatjon tada reaguje kao elektrofil (*2. stupanj*) i napada benzenov prsten gradeći arenijum-jon. Arenijum-jon (*3. stupanj*) tada gubi proton i postaje *izopropilbenzen*.



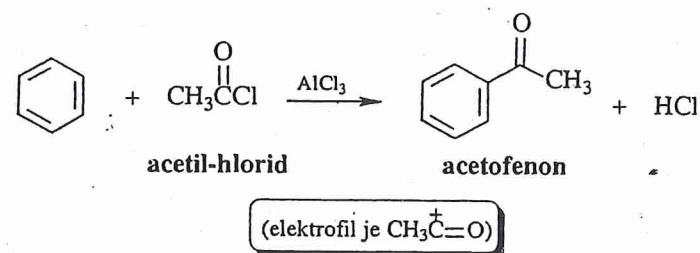
Kada je R-X primarni halogenid, primarni karbokatjon ne može da se nagradi. Aluminijum-hlorid gradi kompleks sa alkil-halogenidom i i tada ceo kompleks reaguje kao elektrofil. U tom kompleksu, ugljenik-halogen veza je skoro raskinuta, a ugljenikov atom ima delimično pozitivno naelektrisanje. Mada ovaj kompleks nije prost karbokatjon, reakcija se vrši kao da jeste i pozitivna alkil-grupa se prenosi na aromatičan prsten.

Friedel-Crafts-ovo alkilovanje nije ograničeno samo na upotrebu alkil-halogenida i aluminijum-hlorida. Mogu se upotrebiti mnogobrojni drugi parovi reagenasa koji formiraju karbokatjonove (ili slične vrste). Na primer, to može biti smesa alkena i kiseline. Takođe se može upotrebiti smesa alkohola i kiseline.

## FRIEDEL-CRAFTS-OVO ACILOVANJE

RCO-Grupa se naziva **acil-grupa**, a reakcija u kojoj se neka acil-grupa uvodi u neko jedinjenje, naziva se reakcija acilovanja. Dve uobičajene acil-grupe su acetil-grupa i benzoil-grupa.

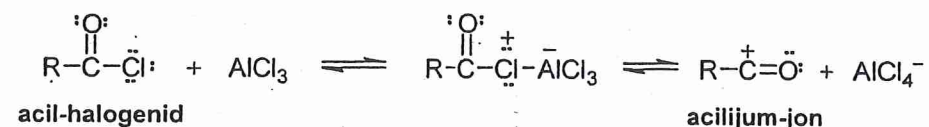
Reakcija Friedel-Crafts-ovog acilovanja predstavlja efikasan način za uvođenje acil-grupe u aromatičan prsten. Reakcija se često izvodi tretiranjem aromatičnog jedinjenja sa acil-halogenidom. Čak i sa vrlo reaktivnim aromatičnim jedinjenjima reakcija zahteva dodatak najmanje jednog ekvivalenta Luiseve kiseline (kao što je aluminjum-hlorid,  $\text{AlCl}_3$  u anhidrovanom obliku). Proizvod reakcije je aril-ke-ton.



Acil-hloridi, koji se još nazivaju i hloridi kiselina, lako se dobivaju tretiranjem karboksilnih kiselina sa tionil-hloridom ( $\text{SOCl}_2$ ) ili fosfor-pentahloridom ( $\text{PCl}_5$ ).

Friedel-Crafts-ova acilovanja se takođe mogu izvesti pomoću anhidrida karboksilnih kiselina.

U većini Friedel-Crafts-ovih acilovanja elektrofil je acilijum-jon, nastao iz acil-halogenida na sledeći način:



Ogledi:

1. Rastvorljivost aromatičnih ugljovodonika. U četiri epruvete sipajte po 1 ml vode, petroletra, etra i etil-alkohola i u svaku dodajte po 1 ml benzena. Epruvete dobro protresite i ostavite ih neko vreme da stoje.

Zabeležite rezultat ogleđa.

2. Ponašanje benzena prema dejstvu kalijum-permanganata na hladno i pri zagrevanju.

a) U epruvetu sipajte 1 ml vodenog rastvora kalijum-permanganata (5%-ni rastvor) i 1 ml čistog benzena. Epruvetu dobro protresite i ostavite je neko vreme na sobnoj temperaturi.

b) Izvedite ogled oksidacije benzena na višoj temperaturi. Pripremite rastvor kao u prethodnom ogledu, dodajte razblaženu sumpornu kiselinu i zagrevajte epruvetu na vodenom kupatilu.

Zapišite rezultate ogleđa.

Da li dolazi do obezbojavanja rastvora  $\text{KMnO}_4$ ?

3. Ponašanje benzena prema rastvoru broma. U dve epruvete sipajte po 1 ml benzena i 5 ml rastvora broma u ugljen-tetrahloridu. U jednu od epruveta dodajte malo opiljaka gvožđa (ili

$\text{CH}_2\text{Cl}_2$ )

gvožđa u prahu). Epruvete dobro protresite i ostavite ih da stoje neko vreme na sobnoj temperaturi.

Da li je došlo do neke promene? Šta se dešava u epruveti sa gvožđem?

4. Nitrovanje benzena. a) U veću epruvetu sipati 1 ml koncentrovane sumporne kiseline, a zatim 1 ml koncentrovane azotne kiseline (prilikom dodavanja azotne kiseline epruvetu treba hladiti pod mlazom česemske vode). U tako pripremljenu smesu za nitrovanje doda se 2 ml benzena (kap po kap). Rastvor u epruveti zagrejati na vodenom kupatilu do ključanja. Ohladiti epruvetu i sadržinu polako sipati u drugu epruvetu sa oko 5 ml hladne destilovane vode. Izdvojiće se žuto ulje mirisa na gorki badem koje potiče od nitrobenzena.

Formulisati reakciju.

- b) Ponoviti ogled samo umesto 2 ml benzena upotrebiti svega 0,5 ml. Pri ovoj reakciji izdvojiće se žuti kristali *m*-dinitrobenzena.

Formulisati reakciju.

5. Sulfonovanje benzena. U epruvetu sipati 1 ml benzena i 2 ml koncentrovane sumporne kiseline. Sadržaj u epruveti zagrevati na vodenom kupatilu i s vremena na vreme protresti epruvetu. Kada se dobije homogen, rastvor izliti ga u drugu epruvetu sa 3 ml hladne vode. Ako je sulfonovanje izvršeno do kraja dobiće se bistar rastvor pošto je benzensulfonska kiselina rastvorna u vodi.

6. Ponašanje toluena prema dejstvu kalijum-permanganata. a) U epruvetu sipati 3 ml vode, 1 ml 0,5%-nog rastvora kalijum-permanganata i 1 ml razblažene sumporne kiseline. Zatim dodati 1 ml toluena i epruvetu energično protresati u toku 1-2 minute.

Zapisati promenu koja se dešava i napisati jednačinu reakcije.

- b) U balon od 50 ml dodati 10 kapi toluena, 10 ml vode, 0,1 g natrijum-karbonata i 1 g kristalnog kalijum-permanganata i refluktovati smesu sve dok se purpurna boja rastvara ne izgubi. Ohladiti smesu i zakiseliti je razblaženom sumpornom kiselinom. Dodati natrijum-bisulfita da se odstrani mangan(IV)-oksid a zatim procediti rastvor i odvojiti kristale benzojeve kiseline.

Formulišite odgovarajuću reakciju.

7. Toluen sa bromom. Ponovite ogled kao sa benzenom samo umesto benzena upotrebite toluen (metilbenzen). Kako biste uporedili reaktivnost benzena i toluena prema bromu?

Koje od ova dva jedinjenja reaguje brže, a koje sporije?

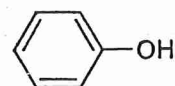
Formulisati odgovarajuće reakcije, ako se vrše.

8. Bromovanje naftalena. U suhu epruvetu dodati nekoliko kristalića naftalena i par kapi rastvora broma u ugljen-tetrahloridu. Epruvetu protresti i ostaviti je na sobnoj temperaturi. Bromovanje naftalena počinje lagano, pri čemu boja broma postepeno bleđi, a izdvaja se gasoviti HBr koji se puši na vazduhu. Isti ogled ponoviti samo uz zagrevanje. Bromovanje se tada vrši znatno brže.

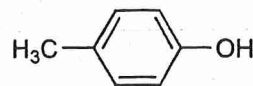
Napisati odgovarajuće jednačine reakcije.

## FENOLI

Fenoli su jedinjenja koja imaju hidroksilnu grupu direktno vezanu za benzenov prsten. Fenol je specifičan naziv za hidroksibenzen, ali, to je i opšti naziv za čitavu familiju jedinjenja izvedenih iz hidroksibenzena.

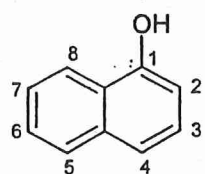


fenol  
(hidroksibenzen)

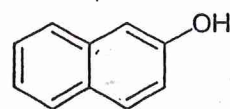


4-metilfenol  
(p-krezol)

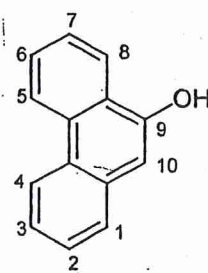
Jedinjenja koja imaju hidroksilnu grupu vezanu za policikličan benzenoidni prsten, hemijski su slična fenolima, ali se ona nazivaju naftoli i fenantrol, na primer:



1-naftol  
(α-naftol)

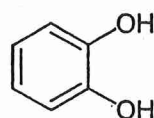


2-naftol  
(β-naftol)

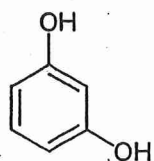


9-fenantrol

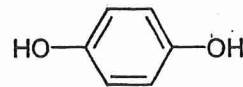
Fenoli sa dve hidroksilne grupe vezane za benzenov prsten su benzendioli, čiji su uobičajeni nazivi katehol, rezorcinol i hidrohinon.



1,2-benzendiol  
(katehol)

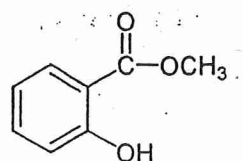


1,3-benzendiol  
(rezorcinol)

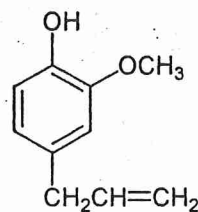


1,4-benzendiol  
(hirohinon)

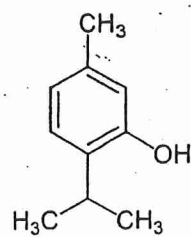
Mnogi fenoli su široko rasprostranjeni u prirodi. Tako se, na primer, metil-salicilat nalazi u zimзелenu, eugenol u ulju karanfilića, timol u majkinoj dušici, a estradiol je ženski seksualni hormon.



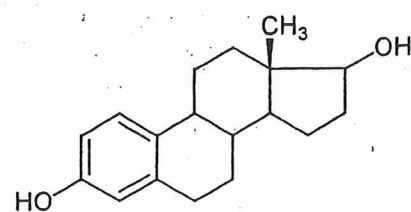
metil-salicilat  
(u zimзелenu)



eugenol  
(u ulju karanfilića)



timol  
(majkina dušica)



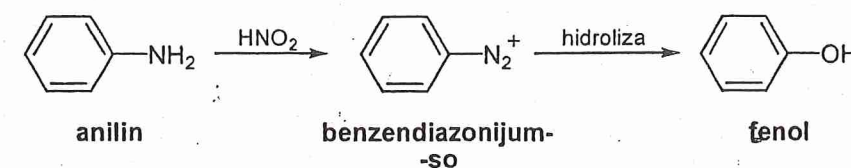
estradiol  
(steroidni hormon)

### Fizičke osobine fenola

Zbog toga što u svom molekulu sadrže hidroksilnu grupu, fenoli mogu da grade intermolekulske vodonične veze i po tome su slični alkoholima. Usled formiranja vodonične veze, fenoli imaju više tačke ključanja od ugljovodonika približne molekulske mase. Sam fenol je приметно rastvoran u vodi (9,3 g/100 ml vode), dok je većina drugih fenola praktično nerastvorljiva u vodi.

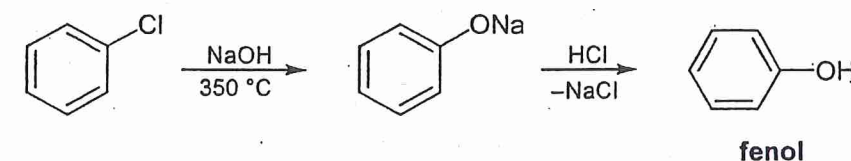
### Dobijanje fenola

I. Laboratorijska sinteza. – Najvažnija laboratorijska sinteza fenola je hidroliza arendiazonijum-soli (vidi kod amina).

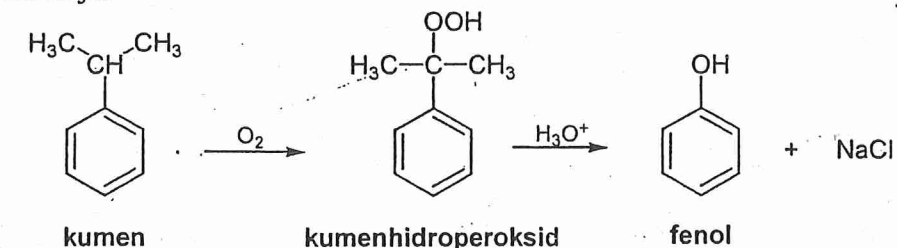


### II. Industrijska sinteza

1. Hidroliza hlorobenzena. – U ovom procesu, hlorbenzen se zagreva na 350 °C (pod visokim pritiskom) sa vodenim rastvorom natrijum-hidroksida.

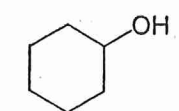


2. Iz kumen-hidroperoksida. – Kumen prvo podleže autooksidaciji sa molekulskim kiseonikom, pri čemu postaje kumenhidroperoksid, koji, pod kiselim reakcionim uslovima daje fenol i aceton reakcijom premeštanja.

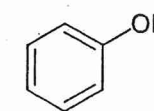


### Reakcije fenola

Reakcije fenola kao kiseline. – Mada su fenoli i alkoholi strukturno slični, fenoli su mnogo jače kiseline. Tako se  $pK_a$  vrednosti većine alkohola nalaze u opsegu od 16-18, a  $pK_a$  vrednosti većine fenola su manje od 11. Na primer,

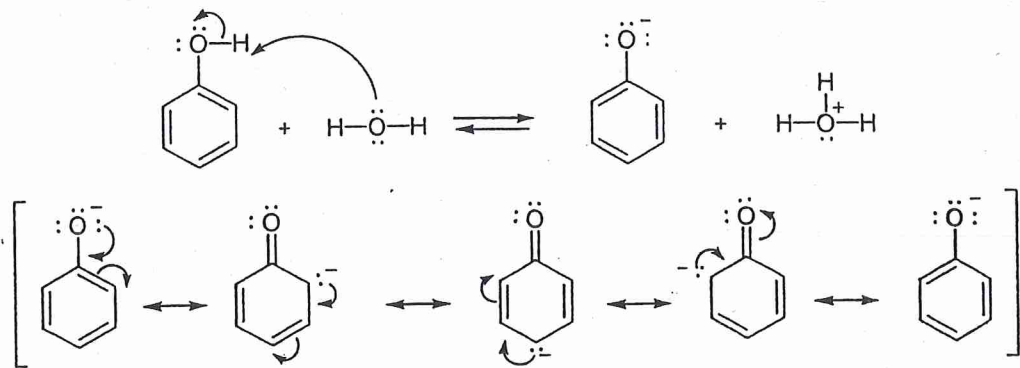


cikloheksanol  
( $pK_a$  18)



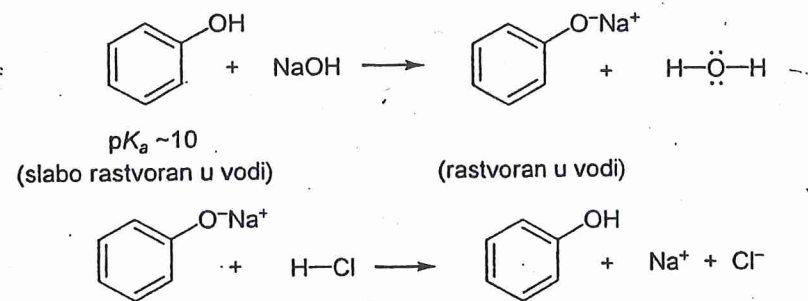
fenol  
( $pK_a$  9,89)

Smatra se da benzenov prsten, u poređenju s cikloheksanovim prstenom, deluje kao elektron-privlačna grupa, i time slabi O–H vezu, odnosno povećava njenu kiselost. Takođe, rezonanciona stabilizacija fenoksidnog anjona (konjugovane baze fenola) značajno doprinosi njihovoj povećanoj kiselosti.



fenoksidni anjon kao rezonancioni hibrid

U reakciji s natrijum-hidroksidom, fenol se potpuno pretvara u natrijumovu so – **natrijum-fenoksid** (uobičajen naziv) ili **natrijum-fenolat** (sistematski naziv). Fenoksidi se dejstvom neke kiseline, dakle pri protonovanju, pretvaraju nazad u fenole.

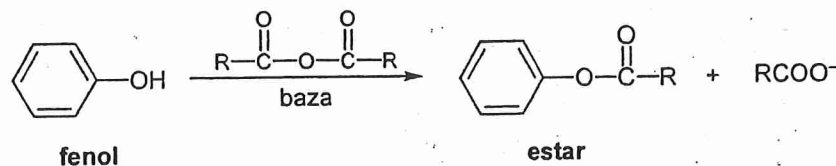


Za razliku od karboksilnih kiselina, fenoli ne reaguju s vodenim rastvorom natrijum-bikarbonata (ugljena kiselina je jača kiselina od fenola).

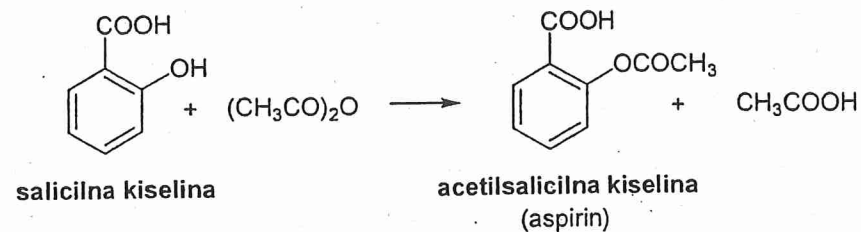
## Druge reakcije O–H grupe

### 1. Građenje estara

Slično alkoholima, fenoli reaguju sa anhidridima i hloridima kiselina gradeći **estre**.

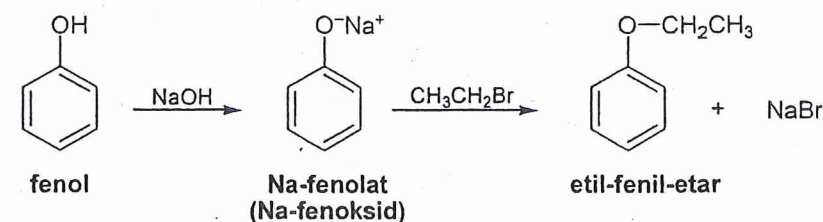


Tako, na primer, **aspirin** (poznati analgetik i antipiretik) nastaje esterifikacijom OH-grupe fenola anhidridom sirćetne kiseline.



## 2. Građenje etara. Fenoli u Vilijamsonovoj sintezi

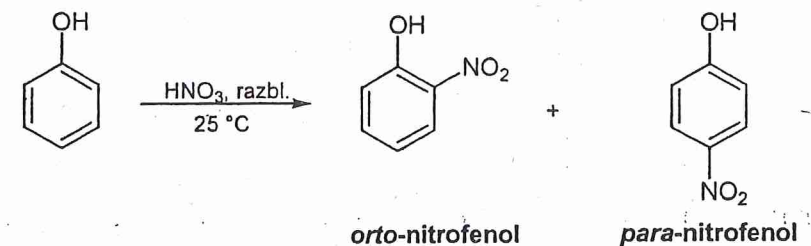
Fenoli se, najpre, pomoću natrijum-hidroksida prvo pretvore u fenokside, a zatim, u reakciji sa nekim alkil-halogenidom, nagrade **etar**.



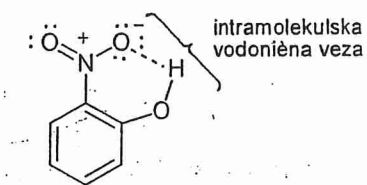
**Supstitucija u benzenovom prstenu.** – Hidroksilna grupa fenola je jako aktivirajuća grupa u elektrofilnoj supstituciji (*orto*-, *para*-dirigujuća grupa).

### 1. Nitrovanje fenola

Fenol reaguje s razblaženom azotnom kiselinom i daje smesu *orto*-i *para*-nitrofenola.

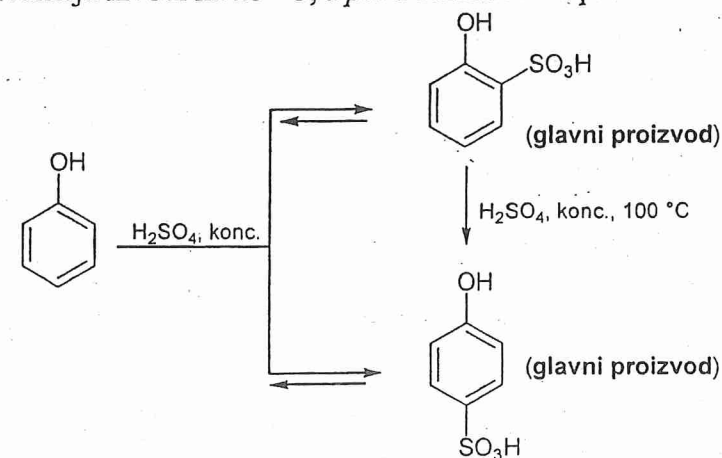


Ova dva izomera se lako odvajaju jedan od drugog destilacijom sa vodenom parom. *orto*-Nitrofenol je isparljiviji od *para*-izomera, jer u njegovom molekulu može da se nagradi intramolekulska vodonična veza, te je zbog toga praktično nerastvoran u vodi.



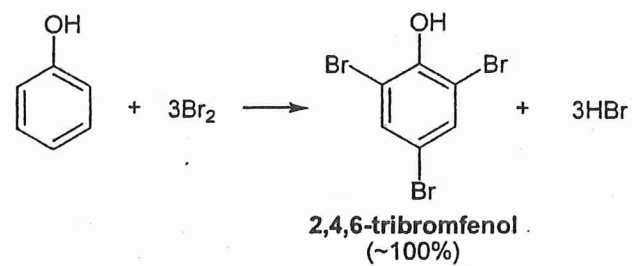
### 2. Sulfonovanje

Fenol reaguje s koncentrovanom sumpornom kiselinom i daje uglavnom *orto*-sulfonovani proizvod, ukoliko se reakcija izvodi na 25 °C, a *para*-sulfonovani proizvod nastaje na 100 °C.



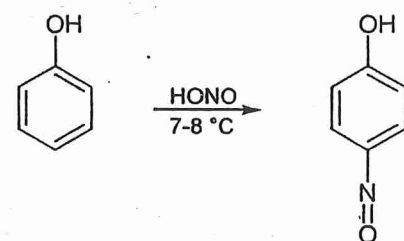
### 3. Bromovanje

Fenol lako reaguje s bromom već u vodenom rastvoru i daje 2,4,6-tribromfenol. Ovde Luisova kiselina nije potrebna za reakciju.



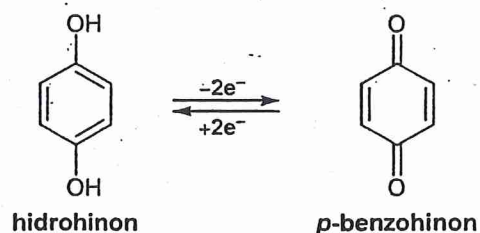
### 4. Nitrozovanje

Azotasta kiselina pretvara fenole u nitrozofenole.



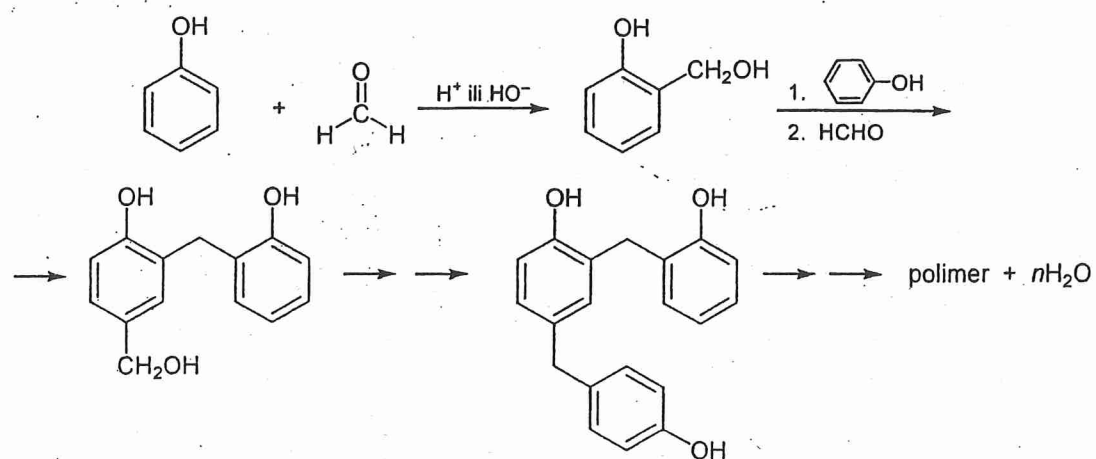
### 5. Oksidacija fenola u hinone

Oksidacijom hidrohina (1,4-benzendiola) postaje jedinjenje poznato kao *para*-benzohinon. Hinoni su jedinjenja koja imaju dva kiseonikova atoma vezana dvostrukom vezom za cikloheksadien.



Hidrohinon i drugi fenoli se mogu upotrebiti kao inhibitori slobodno-radikalnih reakcija. Oksidacija fenola je ključni element u dejstvu nekih konzervanasa za očuvanje hrane.

### 6. Fenolformaldehidne smole



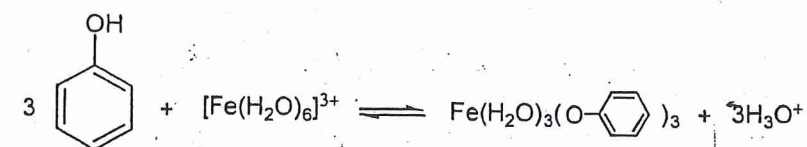
### OGLEDI

**Pažnja: Sve oglede s fenolom treba obavezno izvoditi u rukavicama jer fenol stvara jake opekotine u dodiru s kožom!!!**

1. Ispitajte **rastvorljivost** fenola u vodi, etru, benzenu i hloroformu.
2. **Građenje soli (fenoksida)**. - U oko 2 ml zasićenog vodenog rastvora fenola dodajte 2 ml razblaženog rastvora natrijum-hidroksida. Pri tome se stvara natrijum-fenoksid koji je dobro rastvoran u vodi. Neutralizacijom dobijenog rastvora (dodavanjem razblažene HCl) fenol će se izdvojiti u obliku uljastih kapljica.  
 Napišite odgovarajuće jednačine reakcija.

### 3. Reakcija fenola s feri-hloridom

Razblaženom vodenom rastvoru fenola dodajte nekoliko kapi 1% vodenog rastvora feri-hlorida. Rastvor će se obojiti crveno-ljubičasto. Boja rastvora potiče od postalog obojenog jona  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OFe}^{2+}$ .



4. **Nitrovanje**. - U oko 2 ml vodenog rastvora fenola dodajte oko 1 ml razblažene azotne kiseline. Rastvor će se obojiti žuto od postalog nitrofenola (tačnije, gradi se smesa *orto*- i *para*-nitrofenola).

5. **Sulfonovanje**. - Sipajte nekoliko kristalića fenola i dodajte 1 ml koncentrovane sumporne kiseline. Epruvetu više puta protresite sve dok se kristali fenola potpuno ne rastvore, a zatim je zagrevajte na ključalom vodenom kupatilu u toku 2-3 minuta. Kada se sadržaj u epruveti ohladi, dodajte oko 5 ml hladne destilovane vode. Treba da se dobije bistar rastvor koji više nema karakterističan miris na fenol. Dobiveni proizvod sulfonovanja se bolje rastvara u vodi od samog fenola.  
 Napišite jednačinu reakcije.

6. Sipajte u epruvetu 1 ml koncentrovane sumporne kiseline i dodajte 1 ml zasićenog vodenog rastvora fenola, a zatim ohladite dobijeni rastvor. Dodajte nekoliko kapi rastvora natrijum-nitrita ( $\text{NaNO}_2$ ) i epruvetu protresite. Rastvor će dobiti zelenu boju. Pri razblaživanju, ovaj rastvor postaje crvekasto obojen. U višku baze, crvena boja rastvora se menja u zelenu i plavu, a ponovnim dodatkom kiseline, crvena boja rastvora se vraća.

7. Oko 1 g fenola i rastvora formaldehida zagrevajte u maloj porcelanskoj šolji sve do ključanja, i doke rastvor još topao, pažljivo, u kapima, dodavajte koncentrovanu hlorovodoničnu kiselinu sve dok ne počne da se izdvaja ulje. Hlađenjem rastvora izdvaja se žuta smola - **bakelit**.