

# Vakuum i pridružena instrumentacija

# Uvod

- Tlak – kvantitativni pokazatelj vakuuma
- Klasifikacija
  - Pred vakuumski sustavi (niski vakuum) je reda veličine  $1 Pa$
  - Od  $1 Pa$  do  $10^{-2} Pa$  - srednji vakuum
  - Od  $10^{-2}$  do  $10^{-5} Pa$  - visoki vakum
  - Od  $10^{-6} Pa$  i manje - područje ultravisokog vakuuma

# Opće karakteristike

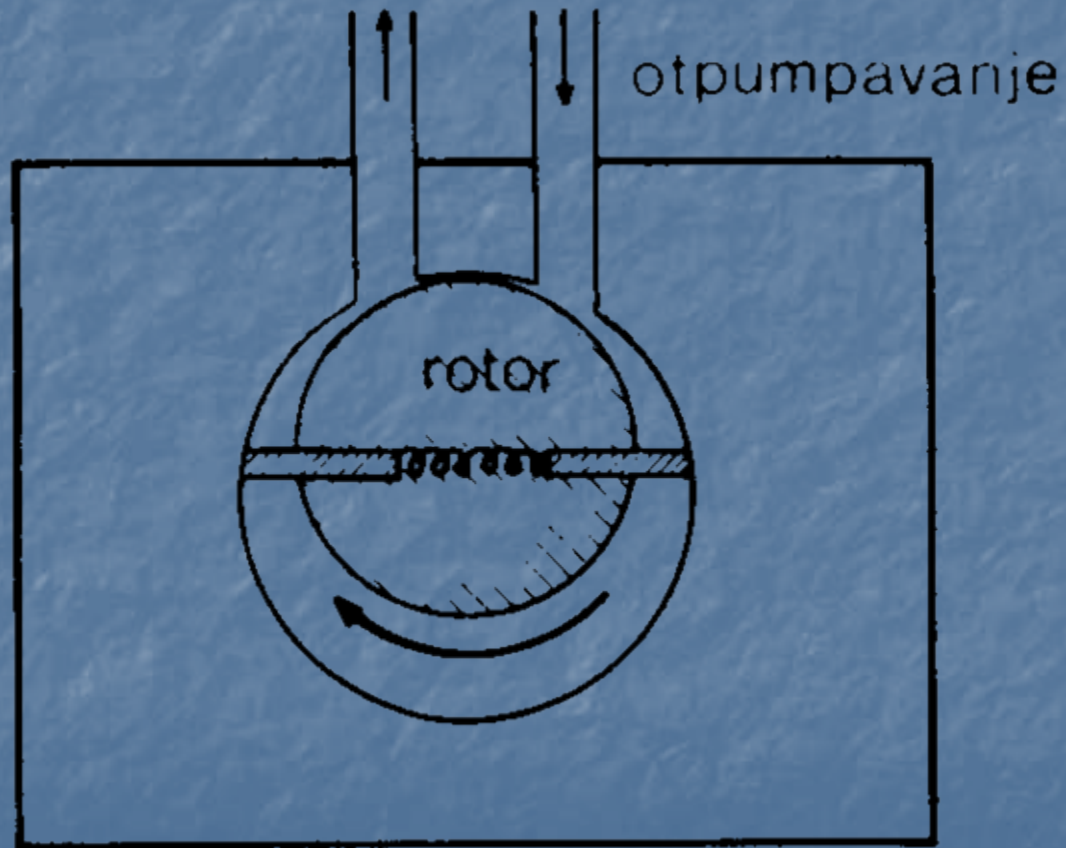
- Različite kvalitete vakuuma postićemo različitim uređajima ustrojenim prema različitim fizikalnim principima
- Postizanje vrlo visokih vakuuma -- u koracima, primjenom različitih fizikalnih principa i uređaja

# Postizanje vakuuma – uređaji

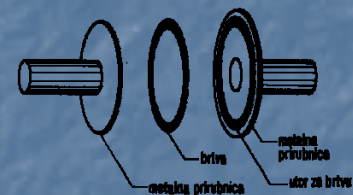
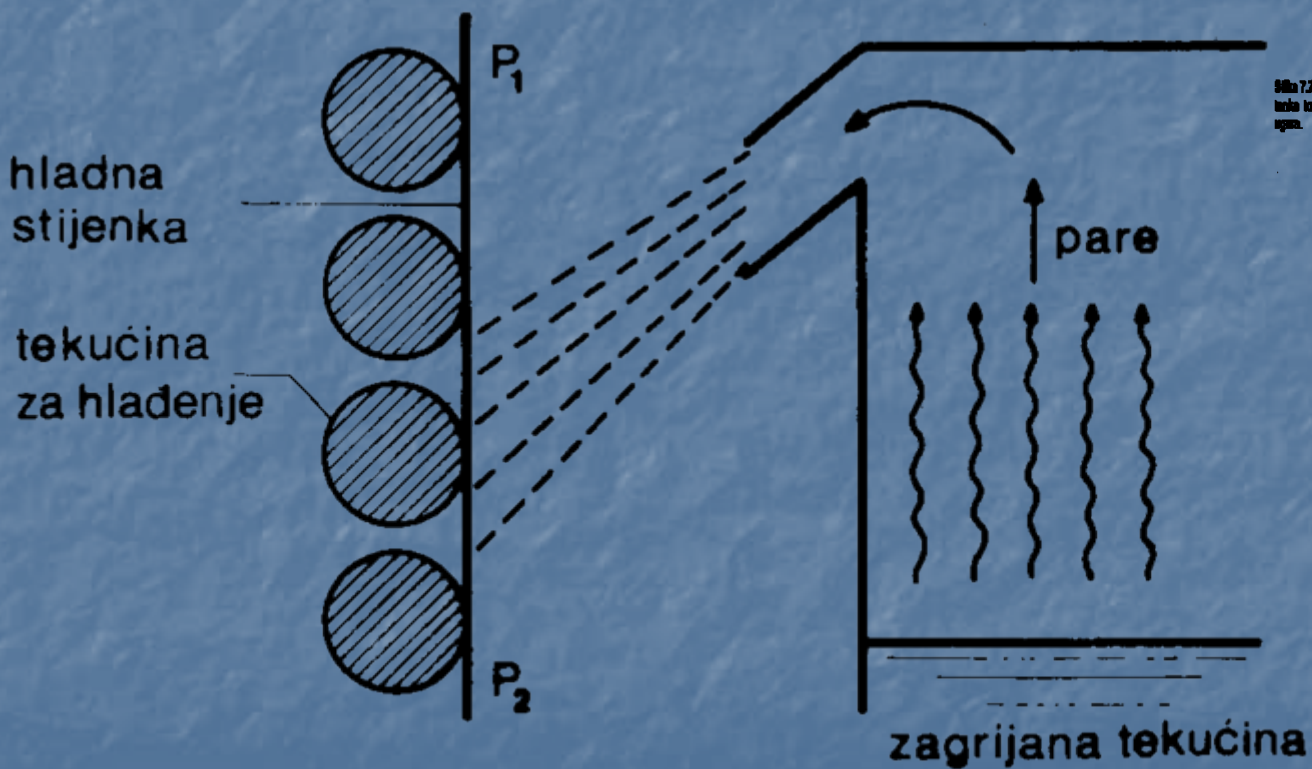
- Mehanička rotacijska pumpa
- Difuzijska pumpa
- Turbomolekularne pumpe
- Ionska pumpa
- Kriogenske pumpe
- Sublimacijske pumpe



# Mehanička rotacijska pumpa

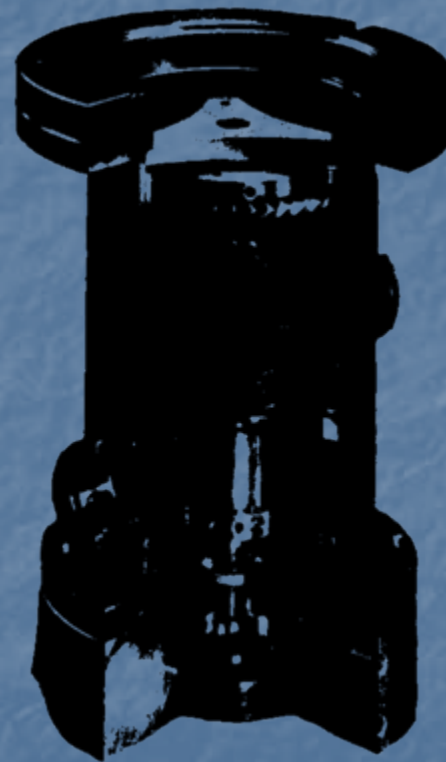
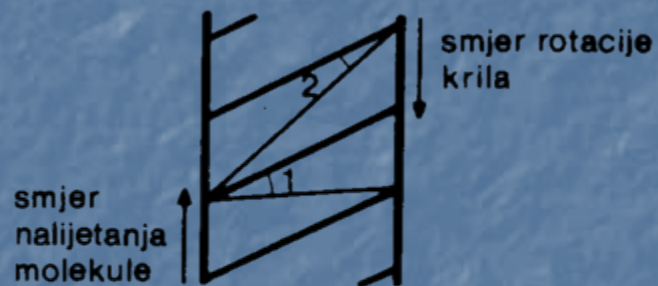


# Difuzijska pumpa



Slika 7.7. Povezivanje vakuumskih komponenti. Između deju metalnih priubnica postavlja se tekućina krcana brava od elastičnog materijala. Jedna priubnica obično ima utor u koji se brava uklapa.

# Turbomolekularne pumpe





# Ionska pumpa

- Molekule plina se ioniziraju elektronima
- Ioni se transportiraju električnim poljem
- Pomoću magnetskog polja može se povećati putanja molekula
- Ukapljivanje



# Kriogenske pumpe

- Pothlađivanjem materijala do niskih temperatura smanjuje se tlak zasićenih para.
- Za nekondenzirane plinove smanjuju se njihovi parcijalni tlakovi
- Efekt pumpanja

# Sublimacijske pumpe

- Proces u kojem aktivne površine povlače molekule iz prostora vakuuma
- Korisno za dobivanje ultravisokog vakuuma
- Npr. titanski izvor zagrijan do temperature sublimacije deponira aktivni film na okolne površine koji veže molekule plina.
- Uporabom sublimacijskih pumpi tlak se može smanjiti i za nekoliko radova veličina

# Mjerenje vakuuma

- Bourdonova cijev
- Triodna cijev
- Bayard-Alpertov vakuummetar



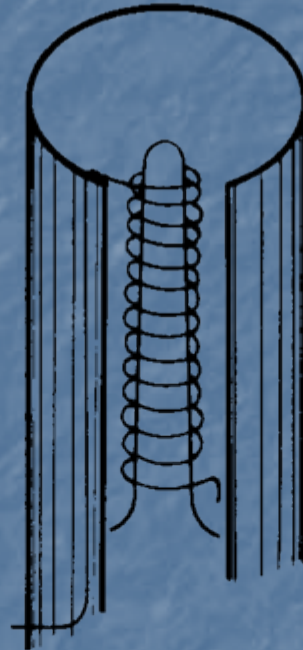
# Bourdonova cijev



**Slika 7.4.** Bourdonova cijev. Spiralna konstrukcija cijevi osigurava da se cijev odmata ili namata ovisno o tome je li u njoj tlak povećan ili umanjen.

# Triodna cijev

$$i^+ = konst. N_{el} P$$

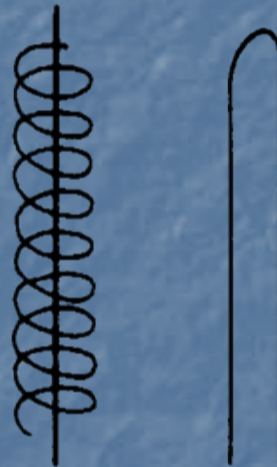


Važi proporcionalnost  
sve do  $10^{-6}$ Pa  
Struja mekog x-zračenja  
maskira efekt

**Slika 7.5.** Iz žarne niti katode izlijeću elektroni. Pozitivni potencijal mrežice osigurava akceleraciju elektronima tako da ioniziraju okolni plin. Plašt anode je na naponu koji sprečava elektrone da struje ka anodi; na nju dopijevaju samo pozitivni ioni struje,  $i^+$ . Ta je struja proporcionalna broju molekula prisutnog okolnog plina (tlaku plina).

# Bayard-Alpertov vakuummetar

Važi linearna  
proporcionalnost  
sve do  $10^{-10}\text{Pa}$



**Slika 7.6.** Bayard–Alpertov vakuummetar. U odnosu na triodu geometrija je invertirana. Katoda je izvan mrežice, a ioni se prikupljaju tankom metalnom niti unutar rešetke.



# Vakuumski materijali

- Površine u vakuumu isplinjavaju
- Dinamički tlak je ovisan o brzinama isplinjavanja ( $v'$ ) i isisavanja ( $v$ )

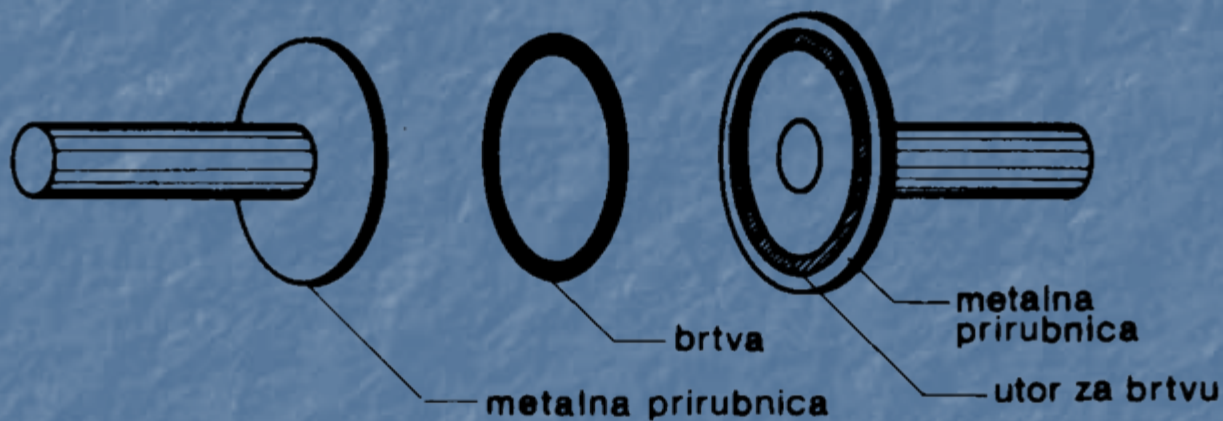
$$P_{\text{din}} = \text{konst. } v' / v$$

- $v'$  pak ovisi o:
  - Tlaku para materijala
  - Oslobađanju plinova adsorbiranih na površini
  - Difuziji plina kroz materijal (naročito aktivni vodik i helij)

# Materijali usklađeni s kvalitetom vakuuma

	srednji vakuum	visoki i ultravisoki vakuum
osnovni dijelovi	Aluminij, vučena mjed	nehrđajući čelik
prozirne komponente	staklo	Pyrex (Corning code 7740) aluminijsko staklo (Corning code 1720)
brtve	guma, neopren	metal na metal

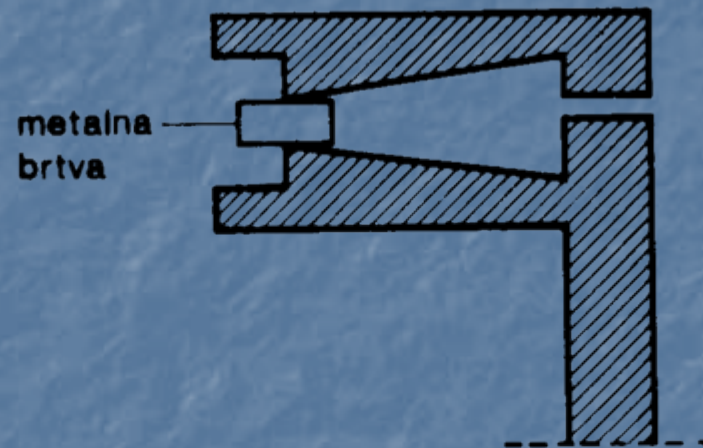
# Brtvljenje



**Slika 7.7.** Povezivanje vakuumskih komponenata. Između dviju metalnih prirubnica postavlja se tanka torusna brtva od elastičnog materijala. Jedna prirubnica obično ima utor u koji se brtva ugura.



# Brtvljenje metalom



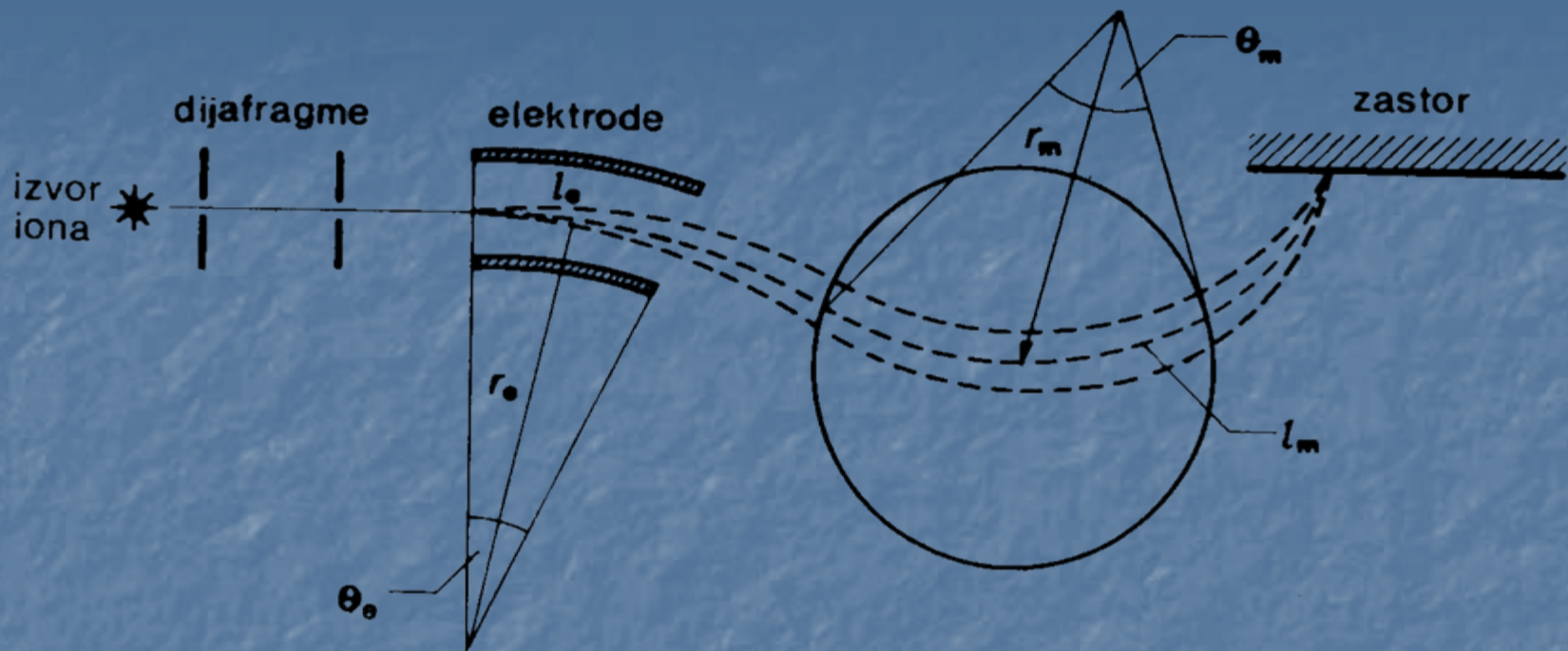
**Slika 7.8.** Metalno brtvljenje. Umjesto elastične brtve upotrebljava se meki metal (npr. pozlaćeni bakar) i tvori odlično brtvljenje. Pri vertikalnom pritezanju oštri rubovi prirubnica usijecaju se u brtvu i priječe protok plina u horizontalnom smjeru.

# Maseni spektrometar (upotreba u dijagnostici)

- Gibanje nabijene čestice u elektromagnetskom polju
- Problem korekcije zbog disipacije snopa uvjetovane nejednolikom raspodjele po impulsu (brzini) čestica

$$\frac{mv^2}{r_e} = qE$$

$$\frac{mv^2}{r_m} = qvB$$



**Slika 7.9.** Maseni spektrometar. Osnovne komponente su ionski izvor, dijafragme, električno polje, magnetsko polje i pozicijski osjetljiv instrument. Dužine lukova u poljima označene su sa  $l$ , radijus im je  $r$ , a kut zakreta  $\theta$ .

$$\theta_e = \frac{l_e}{r_e} = \frac{qEl_e}{mv^2} \qquad \theta_m = \frac{l_m}{r_m} = \frac{qBl_m}{mv} \qquad (7.5)$$



# Parcijalne disperzije

$$\frac{1}{\theta_e} \frac{d\theta_e}{dv} = \frac{2}{\theta_m} \frac{\theta_m}{dv}$$

$$\frac{1}{\theta_e} \frac{d\theta_e}{dm} = \frac{1}{\theta_m} \frac{\theta_m}{dm}$$

# Totalna disperzija

$$\frac{d\theta}{dv} = \frac{d\theta_e}{dv} + \frac{d\theta_m}{dv}$$

- Zgodnim odabirom električnog i magnetskog polja disperzija (ionskog) snopa po brzini može se anulirati

# “Leak detection”

- Sprega spektrometra i vakuumskog sustava
- Detekcija helija u ispumpnom kanalu