



**Vraag 1, EVT2025, 20 punten**

Naam: .....

Zet een kruisje onder **Ja** als u het met de uitspraak eens bent en onder **Nee** als u het met de uitspraak oneens bent.

Uitspraak	Ja	Nee
Argon wordt goed gepompt door een kryopomp.		
Een kryopomp heeft continu een draaiende voorvacuümpomp nodig.		
Het werkgebied van een kryopomp ligt tussen $10^{-1}$ en $10^{-8}$ Pa.		
De binnenzijde van het 10K kryopaneel is bedekt met actieve kool om waterstof te kunnen verpompen.		
Bij het regenereren van een kryopomp kan de tweede trap op lage temperatuur blijven.		
Een titaansublimatiepomp is een transportpomp.		
De pompsnelheid van een titaansublimatiepomp voor helium is hoog.		
Bij een getterionenpomp wordt gebruik gemaakt van hoogspanning.		
In een getterionenpomp kunnen edelgassen worden gepompt door middel van ionen-pompwerking.		
De goedkoopste getterionenpompen hebben geen magneet.		
Ionen kunnen positief of negatief geladen zijn.		
Isotopen hebben hetzelfde aantal neutronen als elektronen.		
Een RGA bestaat uit twee gedeeltes: een ionenbron en een ionencollector.		
Een B&A ionisatie drukmeter is een gassoortafhankelijke meter.		
Elektronen in een B&A ionisatie drukmeter worden geëmitteerd door een koude kathode.		
Een Penning drukmeter heeft een pompwerking.		
In een Penning drukmeter bewegen de elektronen naar de anode.		
Een thermokoppel drukmeter heeft een meetbereik van $10^5$ tot 100 Pa.		
Een Pirani drukmeter is een dichtheidsmeter.		
De aanwijzing van een mechanische Bourdonmanometer is afhankelijk van de atmosferische druk.		



**Vraag 2, EVT2025, 24 punten**

Voor een nieuw experiment wordt een klein vacuümsysteem van 10 liter gebouwd. De druk in de vacuumkamer moet uiteindelijk  $1 \times 10^{-9}$  mbar worden. Daarbij moet het vacuüm zeer schoon zijn (UCV), d.w.z. "koolwaterstofvrij".

Het vacuümsysteem heeft een turbopomp met voorvacuümpomp en een bypass leiding (ook wel omloopleiding genoemd). Het systeem heeft vacuümmeters en afsluiters.

- a) Maak een schets van dit vacuümsysteem en benoem de hoofdcomponenten
- b) Welk type turbopomp kiest u? Leg uit waarom u dit type kiest.
- c) Welk type voorvacuümpomp kiest u? Leg uit waarom u dit type kiest.
- d) Welke type afdichtingen kiest u? Leg uit waarom u dit type kiest.

Na het afpompen is de druk in de vacuümkamer  $3 \times 10^{-7}$  mbar.

- e) Wat kunt u doen om binnen een paar dagen een lagere druk te halen?
- f) Waaruit bestaat het restgas vooral bij een druk van  $1 \times 10^{-9}$  mbar?

**Vraag 3, EVT2025, 28 punten**

Marijke wil graag een blokje aluminium bedekken met een dun laagje goud (Au). Daarvoor gebruikt zij een groot opdampstelsel. Bij opdampen wordt een vaste stof verhit tot boven het smeltpunt van het op te dampen materiaal, in dit geval dus het goud. De gouddeeltjes die in de dampfase komen gaan alle kanten op. Door het aluminium blokje in de vacuümkamer op te hangen, wordt het bedekt met een laagje goud. De goudmoleculen moeten het blokje bereiken zonder te botsen met gasmoleculen. Het blokje hangt ongeveer een meter boven de bron waar het goud wordt verdampt.

- Noem één reden waarom hoogvacuum in deze vacuümkamer belangrijk is.
- Noem een combinatie van voorvacuumpomp met hoogvacuumpomp, die dit hoogvacuum kan bereiken. Houd rekening met de grootte van het opdampstelsel.
- Welke drukmeters zou je kiezen op dit vacuumsysteem? Licht toe waarom.

Het systeem bestaat slechts uit één vacuümkamer, met een deur waardoor Marijke na beluchten het blokje aluminium kan laden.

- Maak een schets van het systeem, inclusief de bij b) gekozen pompcombinatie. Men wil de kamer ook kunnen heliumlektesten. Geef ook het aansluitpunt voor de heliumlektester aan.

Goud hecht heel erg slecht op aluminium. Daarom wil Marijke eerst een laagje Titaan opdampen, om de hechting van het goud te verbeteren.

- Het valt Marijke op dat het titaan bij verhitting niet smelt, maar dat de titaan gelijk van vaste stof overgaat in de gasvormige fase. Hoe wordt die faseovergang genoemd?

Het valt haar ook op dat na het verdampen van het titaan de druk in de kamer eerst stijgt maar daarna sterk daalt.

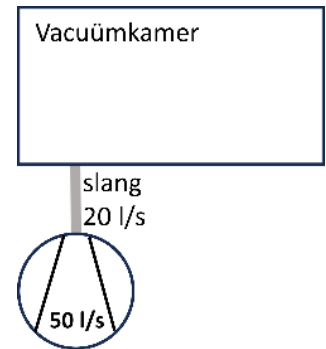
- Wat is de reden dat de druk zo sterk daalt?

De kamer heeft overal CF flenzen met metalen afdichtingen, behalve voor de deur. Daar is een rubber afdichting voor gebruikt.

- Waarom zou het deurtje geen metalen afdichting hebben?

**Vraag 4, EVT-2025, 28 punten**

Je hebt in een vacuümkamer een pompsnelheid nodig van 40 l/s. Je gebruikt een pomp met een pompsnelheid van 50 l/s en sluit hem met behulp van een slang (geleidingsvermogen 20 l/s) aan op de vacuümkamer. Je weet zeker dat het hele vacuümsysteem lekdicht is. Ondanks normale werking van de pomp merk je dat de pompsnelheid aan de vacuümkamer onvoldoende is.

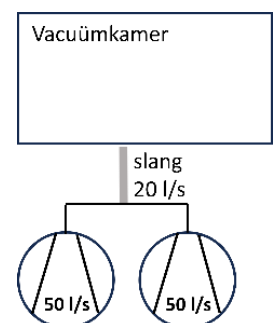


- a) Wat is de beperkende factor voor de pompsnelheid aan de vacuümkamer?

Hieronder vind je een aantal voorstellen om het probleem te verhelpen. Beredeneer (zonder rekenen) of het op deze manier wel of niet lukt om de pompsnelheid van 40 l/s aan de vacuümkamer te halen.

Leg daarnaast per voorstel (b t/m f) uit **waarom** het wel of niet lukt.

- b) Je vervangt de pomp door een grotere, met een pompsnelheid van 100 l/s.  
 c) Je vervangt de slang door één met een geleidingsvermogen van 30 l/s.  
 d) Je vervangt de slang door één met een geleidingsvermogen van 500 l/s.  
 e) Je vervangt de slang en de pomp. De nieuwe slang heeft een geleidingsvermogen van 100 l/s en de nieuwe pomp heeft een pompsnelheid van 100 l/s.  
 f) Met behulp van een T-stuk sluit je een tweede pomp met dezelfde pompsnelheid aan. Deze heeft dezelfde pompsnelheid als de eerste pomp (50 l/s). Zie afbeelding.



- g) Welke van de werkende oplossingen heeft de voorkeur in de praktijk? Motiveer uw antwoord.

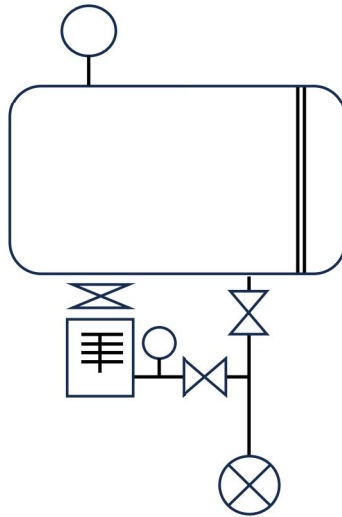
**Vraag 1, EVT2025, 20 punten**

Zet een kruisje onder **Ja** als u het met de uitspraak eens bent. Zet een kruisje onder **Nee** als u het met de uitspraak oneens bent.

<b>Uitspraak</b>	<b>Ja</b>	<b>Nee</b>
Argon wordt goed gepompt door een kryopomp.	x	
Een kryopomp heeft continu een draaiende voorvacuümpomp nodig.		x
Het werkgebied van een kryopomp ligt tussen $10^{-1}$ en $10^{-8}$ Pa.	(x) <small>(staat in het oefenboek)</small>	x
De binnenzijde van het 10K kryopaneel is bedekt met actieve kool om waterstof te kunnen verpompen.	x	
Bij het regenereren van een kryopomp kan de tweede trap op lage temperatuur blijven.		x
Een titaansublimatiepomp is een transportpomp.		x
De pompsnelheid van een titaansublimatiepomp voor helium is hoog.		x
Bij een getterionenpomp wordt gebruik gemaakt van hoogspanning.	x	
In een getterionenpomp kunnen edelgassen worden gepompt door middel van ionenpompwerking.	x	
De goedkoopste getterionenpompen hebben geen magneet.		x
Ionen kunnen positief of negatief geladen zijn.	x	
Isotopen hebben hetzelfde aantal neutronen als elektronen.		x
Een RGA bestaat uit twee gedeeltes: een ionenbron en een ionencollector.		x
Een B&A ionisatie drukmeter is een gassoortafhankelijke meter.	x	
Elektronen in een B&A ionisatie drukmeter worden geëmitteerd door een koude kathode.		x
Een Penning drukmeter heeft een pompwerking.	x	
In een Penning drukmeter bewegen de elektronen naar de anode.	x	
Een thermokoppel drukmeter heeft een meetbereik van $10^5$ tot 100 Pa.		x
Een Pirani drukmeter is een dichtheidsmeter.	x	
De aanwijzing van een mechanische Bourdonmanometer is afhankelijk van de atmosferische druk.	x	

Vraag 2, EVT2025, 24 punten

Antwoorden:



- a) Hoofdcomponenten:
- Vacuümkamer
  - Turbopomp
  - Voorvacuümpomp
  - Afsluiters, HV, VV, BV
  - Voorvacuüm drukmeter
  - Hoogvacuüm drukmeter, of combinatie drukmeter

b) Turbomoleculairpomp met magnetische lagering

Vanwege het ontbreken van een oliesmeerd mechanisch lager is er geen risico op koolwaterstof verontreiniging. (turbomoleculairpomp met hybride lagering is helft van de punten; een opmerking over compressieverhouding voor waterstof is ook punten waard)

c) olievrije scrollpomp, multistage Rootspomp, of kleine schroefpomp.

Dit zijn geschikte keuzes vanwege het ontbreken van olie of vet in het pompmechanisme; hoewel de laatste niet zonder meer altijd olievrij is.

Een membraanpomp is niet geschikt vanwege de lage druk die in de kamer gehaald moet worden. (de klauwenpomp is niet juist vanwege de grootte van deze pomp)

d) Omdat de druk  $< 10^{-7}$  mbar, moet voor metaal afdichtingen gekozen worden zodat de kamer uitgestookt kan worden. Kunststof afdichtingen zoals viton geven te veel ontgassing en permeatie

e) Uitstoken van de vacuümkamer

Het toevoegen van een UHV pomp zoals NEG, IGP of TSP is niet juist, omdat de kamer dan weer belucht moet worden

f) Voornamelijk Waterstof, nog wat CO en wellicht nog wat waterdamp

**Vraag 3, EVT2025, 28 punten**

- a) Vanwege de benodigde vrije weglengte van 1 meter voor de Au deeltjes.
- b) Turbopomp, Kryopomp of oliediffusiepomp ic.m. voorpomp: membraanpomp, multiroots, scrollpomp
- c) Een Penning of een Bayard Alpert ic.m. met een Pirani. Twee drukmeters, een voor hoge druk en een voor lagere druk.  
Daarnaast een drukmeter bij de voorpomp om a) de voordruk te meten en evt. 2) de compressie van de turbo te bepalen.
- d) tekening. Controleer igv diffusiepomp en cryo de aanwezigheid van bypass.  
Beluchtingsventiel, twee drukmeters, voorpomp en benodigde kleppen igv. bypass.
- e) sublimeren/ sublimatie
- f) vanwege de getterwerking van het titaan
- g) Omdat de deur vaak open moet is een metalen afdichting niet handig; elke keer is er een nieuwe metalen afdichting nodig.

**Vraag 4, EVT-2025, 28 punten**

- a) De beperkende factor voor het afpompen is het geleidingsvermogen van de slang. Bij een constructie van meerdere vacuümcomponenten in serie achter elkaar is de effectieve pompsnelheid altijd kleiner dan die van de component met de kleinste pompsnelheid / het kleinste geleidingsvermogen.
- b) Het lukt niet. De beperkende factor (de slang) bepaalt nog steeds de effectieve pompsnelheid.  
Berekening:  $1/20 + 1/100 = 6/100 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 100/6 = 16.7 \text{ [l/s]}$
- c) Het lukt niet. Nog steeds is het kleinste geleidingsvermogen in het systeem (die van de slang) kleiner dan de benodigde pompsnelheid.  
Berekening:  $1/30 + 1/50 = 8/150 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 150/8 = 18.75 \text{ [l/s]}$
- d) Het lukt wel. De beperkende factor is nu de pompsnelheid van de pomp, de totale pompsnelheid zal dus altijd kleiner zijn dan 50 l/s. Maar we kunnen er wel van uitgaan dat de pompsnelheid groter is dan 40 l/s, omdat het geleidingsvermogen van de slang 10 keer groter is dan de pompsnelheid van de pomp. Omdat het geleidingsvermogen van de slang zo groot is, heeft het weinig invloed op de waarde van de totale pompsnelheid. De totale pompsnelheid zal dus net onder de 50 l/s zijn.  
Berekening:  $1/500 + 1/50 = 11/500 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 500/11 = 45.5 \text{ [l/s]}$
- e) Het lukt wel. Geen van de twee componenten is de beperkende factor. Omdat we twee componenten van 100 l/s in serie achter elkaar zetten, zal de totale pompsnelheid de helft van 100 l/s zijn, namelijk 50 l/s.  
Berekening:  $1/100 + 1/100 = 2/100 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 100/2 = 50 \text{ [l/s]}$
- f) Het lukt niet. De beperkende factor (de slang) bepaalt nog steeds de totale pompsnelheid.  
Berekening: De pompsnelheden van de twee pompen worden bij elkaar opgeteld, zij leveren samen 100 l/s.  $1/20 + 1/100 = 6/100 \rightarrow C_{\text{totaal}} = 100/6 = 16.7 \text{ [l/s]}$
- g) Oplossing e) (en nieuwe slang met 500 l/s gebruiken) heeft de voorkeur, omdat het goedkoper is en de pompsnelheden van de twee oplossingen vergelijkbaar zijn.