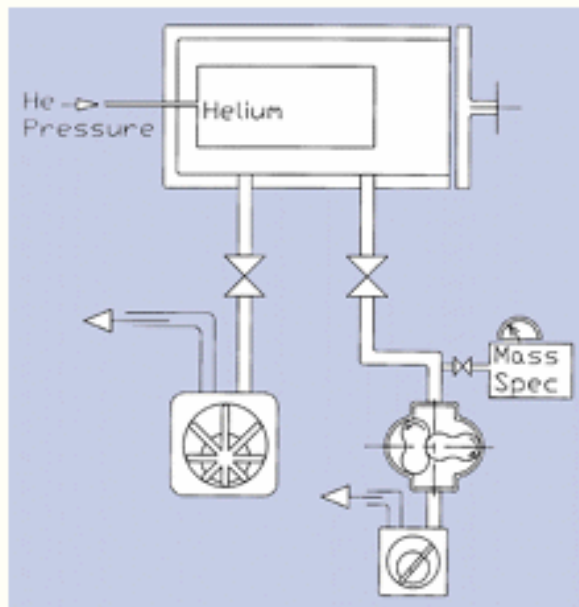
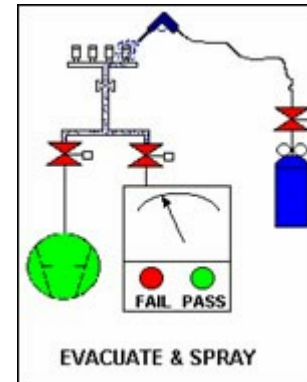


Cursus Vacuümtechniek

Week 16
Dichtheidscontrole

Lekzoeken

- ❑ Overdruk methode
- ❑ Verschil in gevoeligheid + verschil in pompsnelheid
- ❑ Helium lekzoeker
 - Hoofdstroomprincipe
 - Tegenstroomprincipe



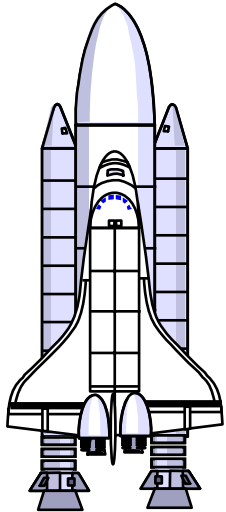
Lektesten/zoeken in de praktijk



Lekzoeken

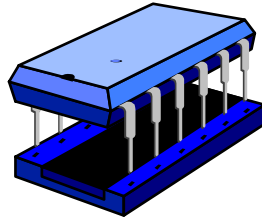
Electrisch

Lampen
Buizen
Transformatoren
Energiecentrales
Vacuümschakelaars



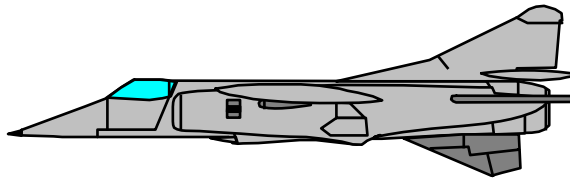
Ruimtevaart

Motoren
Cabine



Halfgeleiders

Gasstroomregelaars
IC's
Vacuüsystemen
Gasleidingen
Gasvoorraadflenzen
Displays



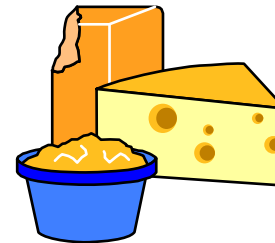
Luchtvaart

Hydraulische circuits
vleugels
motoren
raketten



Medisch

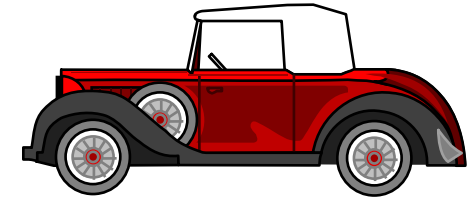
Pacemaker
Catheters
Bloed Filters
Gesealde verpakking



Voedselverpakking

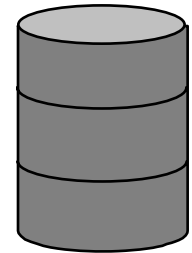


Horloges



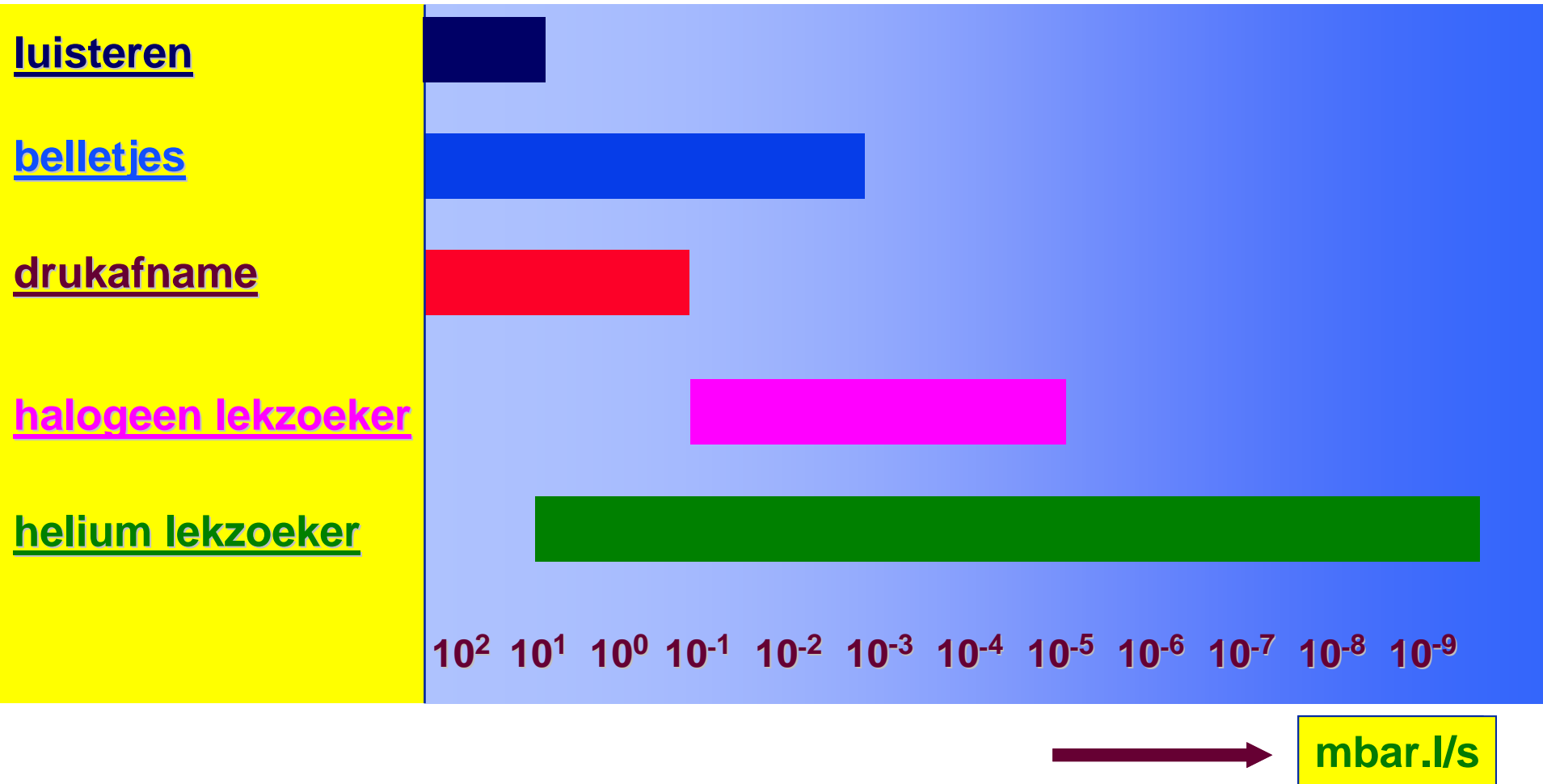
Automobielen

Airbags
Gas tanks
Airco
Brandstofleidingen
Schokdempers
ABS ventielen
Radiatoren
Sensoren
Oliekoelers



Olievaten

Lekzoekmethodes



Lekgasstroom

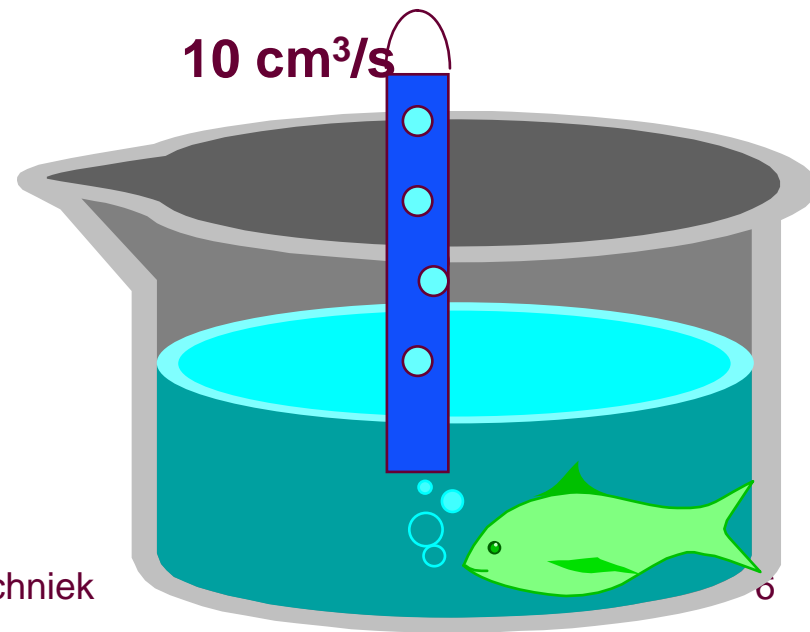
Eenheid van lekgasstroom: $\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

Een lekgasstroom van $1 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ komt overeen met:

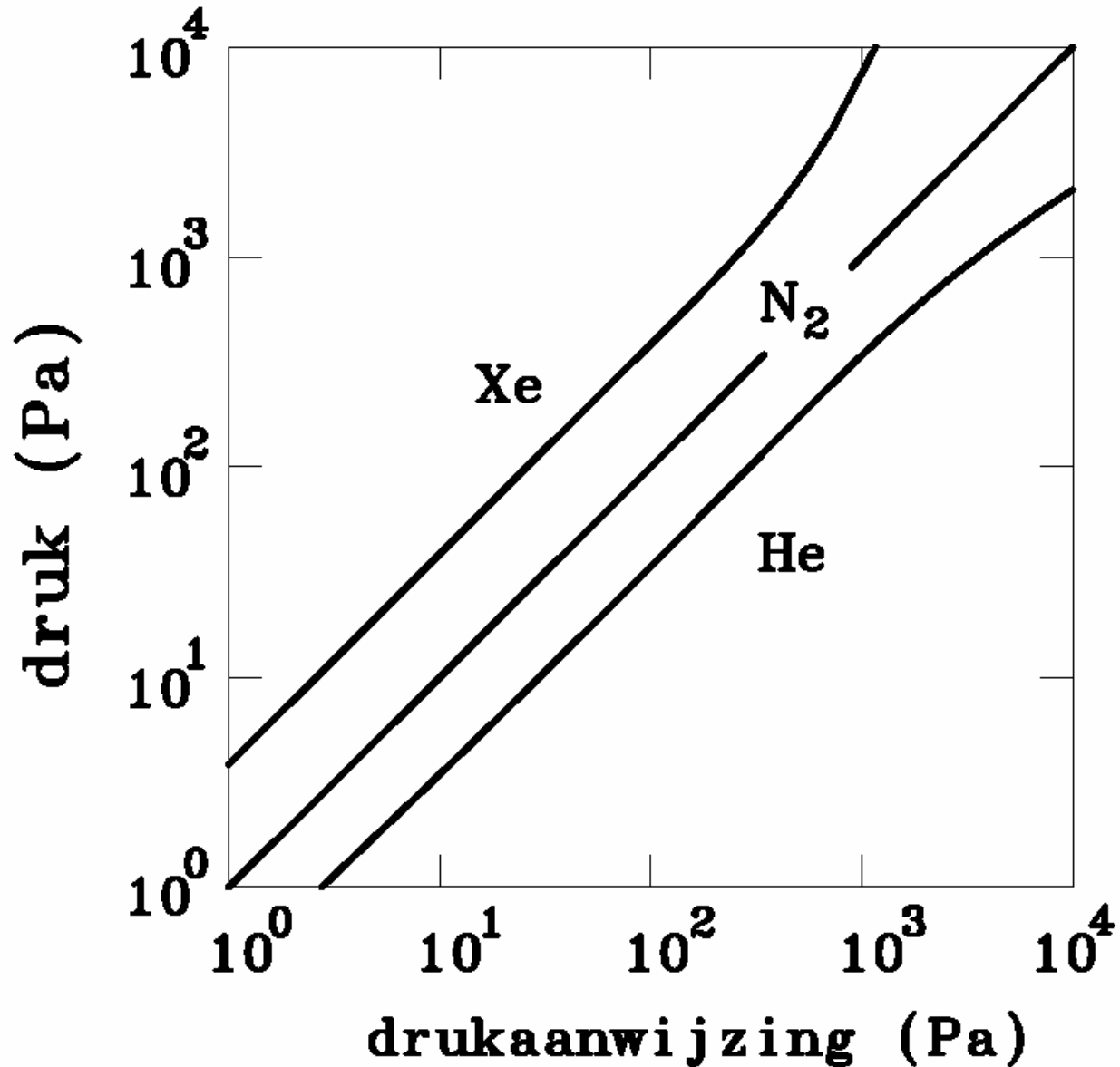
10 stcc/s of 10 STPcm³/s

(spreek uit: tien standaardkubieke centimeter per seconde

Dat betekent, dat in 1 seconde 1 m³ gas ontsnapt bij een druk van 1 Pa, of 10⁻⁵ m³ (= 10 cm³) bij een druk van 10⁵ Pa (= 1 atmosfeer)



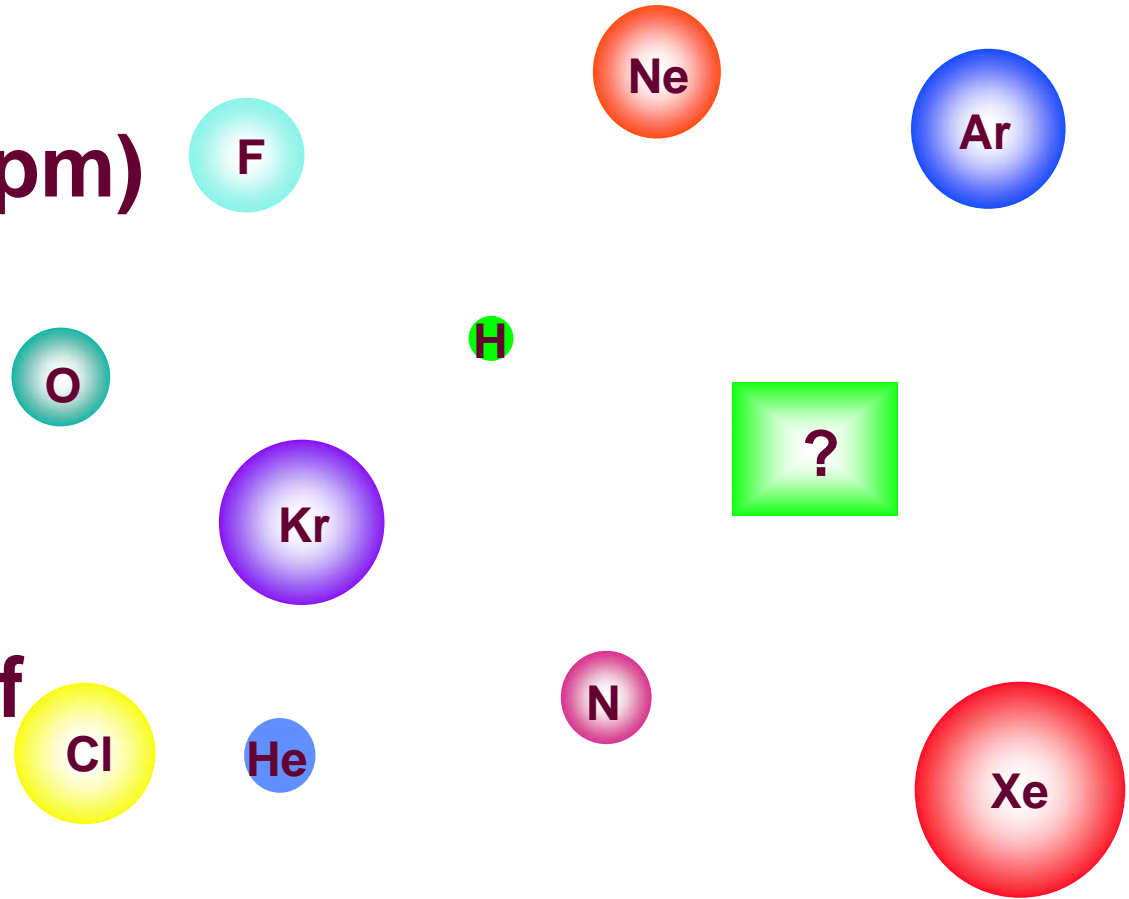
Gasafhankelijkheid Pirani



Lekzoeken met helium

Waarom helium ?

- schaars (5 ppm)
- inert
- veilig
- goedkoop
- licht
- zeer selectief



vergelijking van verschillende methodes

freon (R_{134A})
snuffelmethode



g/jaar

1340

134

13

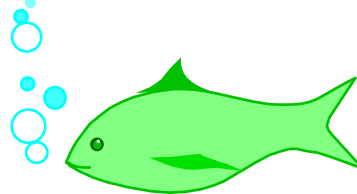
1.3

0.13

0.013

0.0013

benodigde tijd
om een belletje
met een diameter
van 1 mm te vormen



3.35 s

33.5 s

5 min 35 s

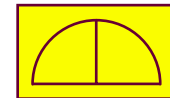
55 min 51 s

9 uur 18 min

93 uur 05 min

38 dagen 18 uur

helium
lekstroom
in mbar.l/s



10^{-2}

10^{-3}

10^{-4}

10^{-5}

10^{-6}

10^{-7}

10^{-8}

Een overzicht van het spectrum

$1 \times 10^{-1} \text{ mbar.l/s} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Pa.m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 6 \text{ stcc/min}$

$1 \times 10^{-11} \text{ mbar.l/s} = .03 \text{ stcc/eeuw}$

$1 \times 10^{-1} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-2} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-3} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-4} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-5} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-6} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-7} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-8} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-9} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-10} \text{ mbar.l/s}$

$1 \times 10^{-11} \text{ mbar.l/s}$

1X

0,1X

0,01X

0,001x

0,0001x

0,00001x

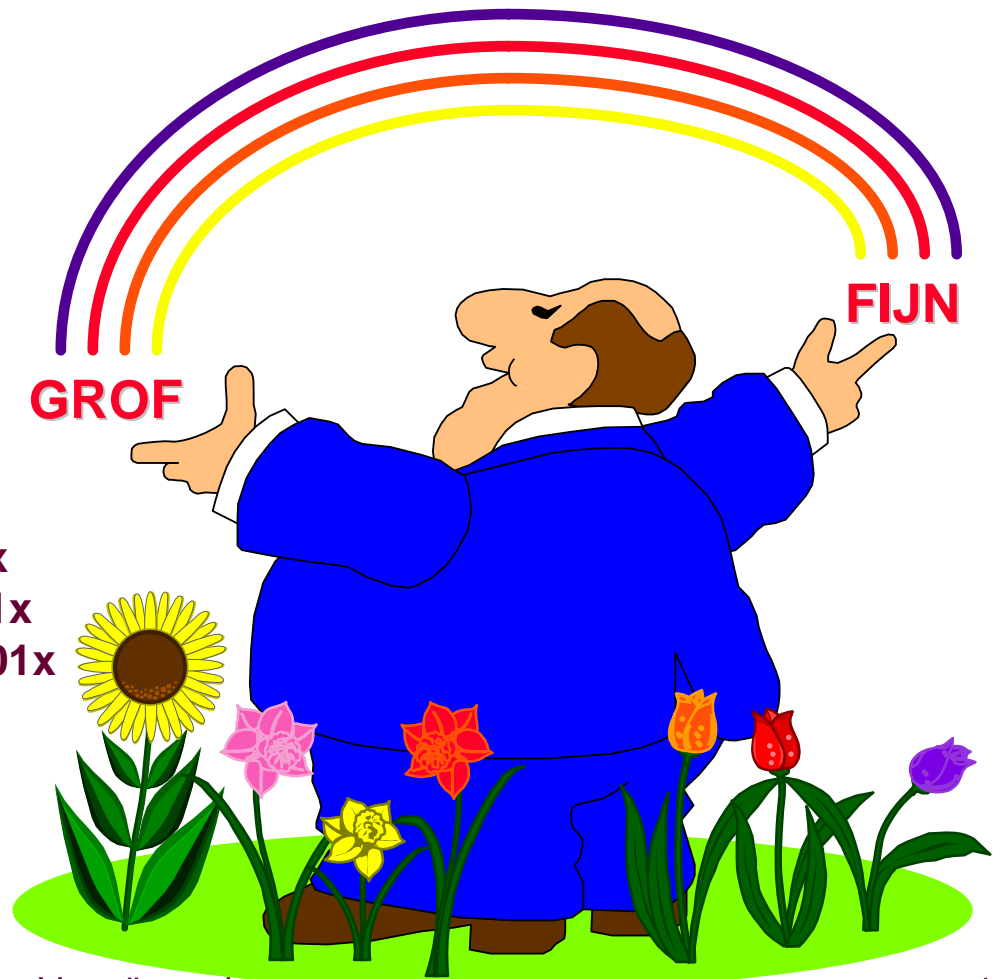
0,000001x

0,0000001x

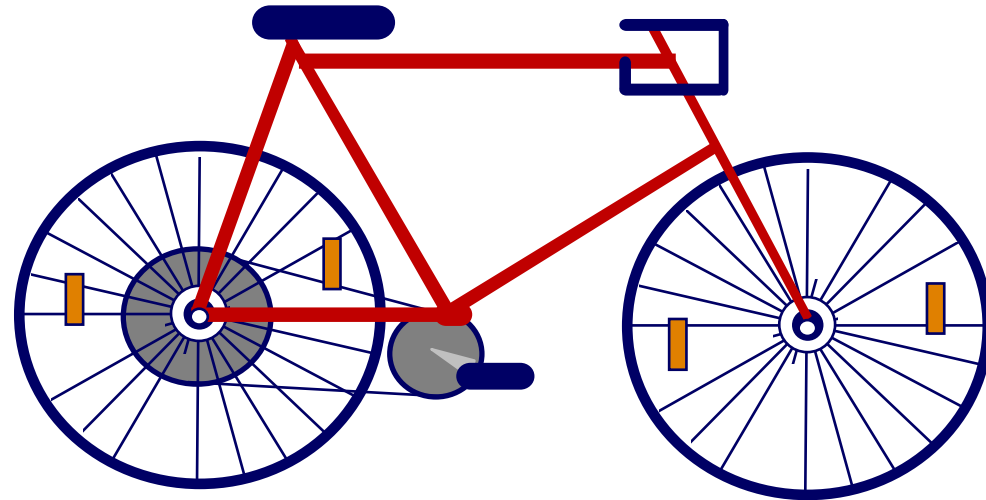
0,00000001x

0,000000001x

0,0000000001x



Wat kan een lekzoeker detecteren ?



Een fietsband met een inhoud van
1 liter die in 24 uur leegloopt
heeft een lek van
 $3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mbar.l/s}$
overeenkomend met
8 belletjes van 2 mm per seconde

$$Q = (p_1 - p_2) \cdot V/t$$

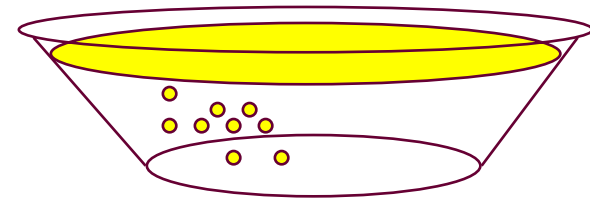
with : Q leak rate

P_1 initial pressure

P_2 final pressure

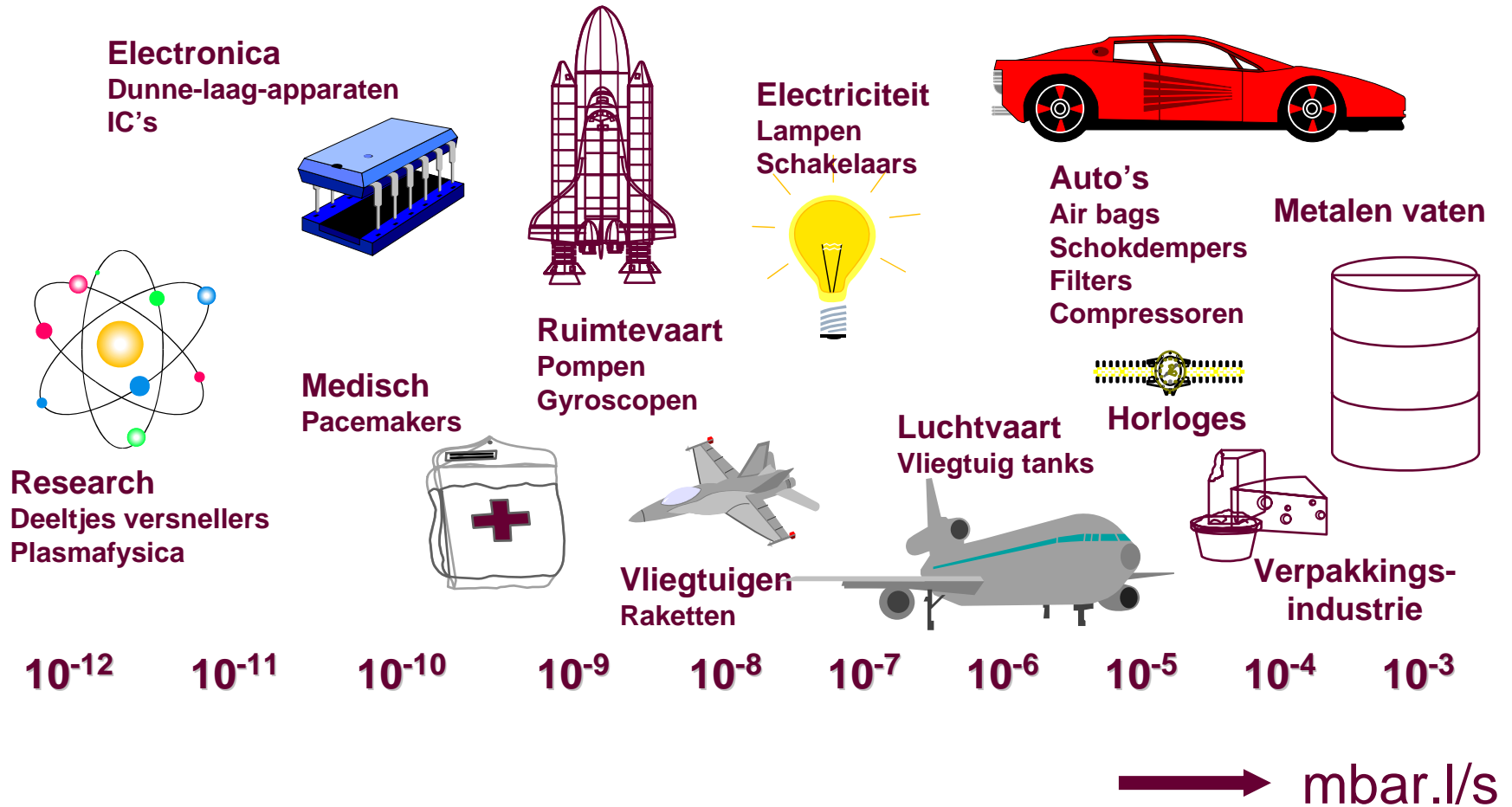
V gas volume

t elapsed time between P_1 and P_2



Inwendig volume band	: 1 liter
Begindruk	: 3 bar overdruk
Einddruk	: 1 bar absoluut
Elapsed time	: 24x3600 seconden

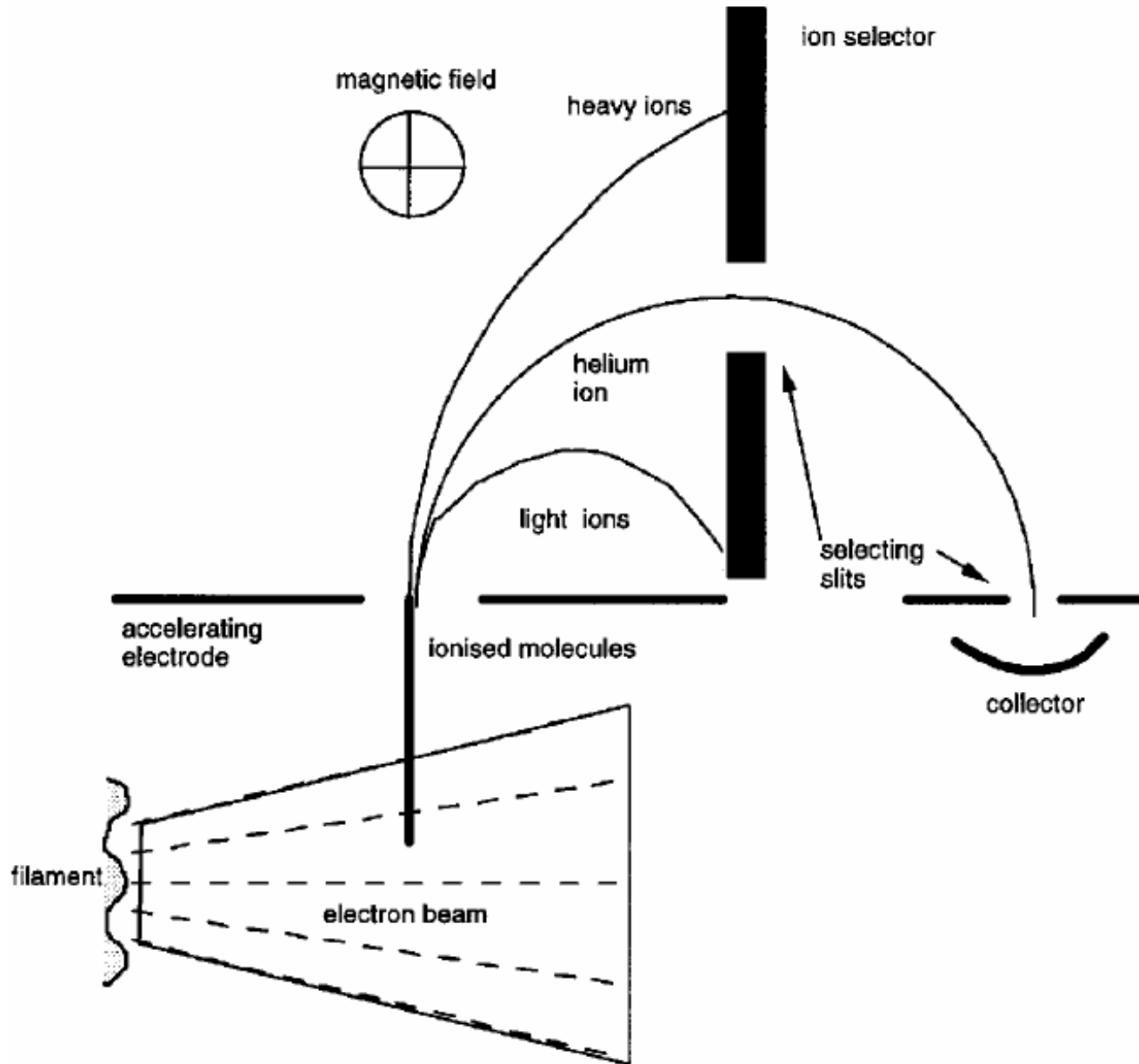
Overzicht toepassingen



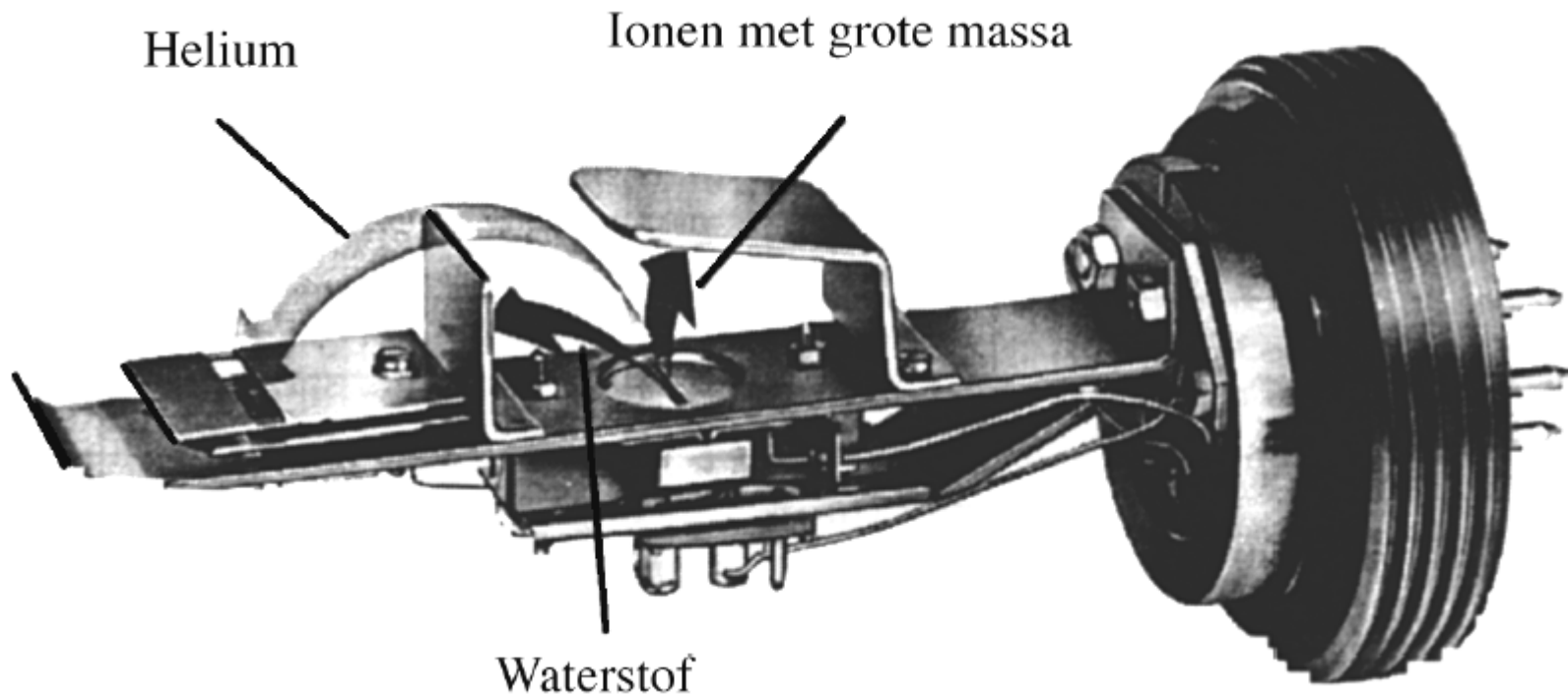
Gevoeligheid (hoor je 't eens van een ander!)

- ❑ The sensitivity of the apparatus was in 1946 $\sim 10^{-7}$ Pa.
 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$
- ❑ it increased to $\sim 10^{-10}$ Pa. $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. by 1970.
- ❑ Nowadays the quoted sensitivity of the most sensitive detectors is $\sim 10^{-13}$ Pa $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, a factor 10^6 gain within 50 years.

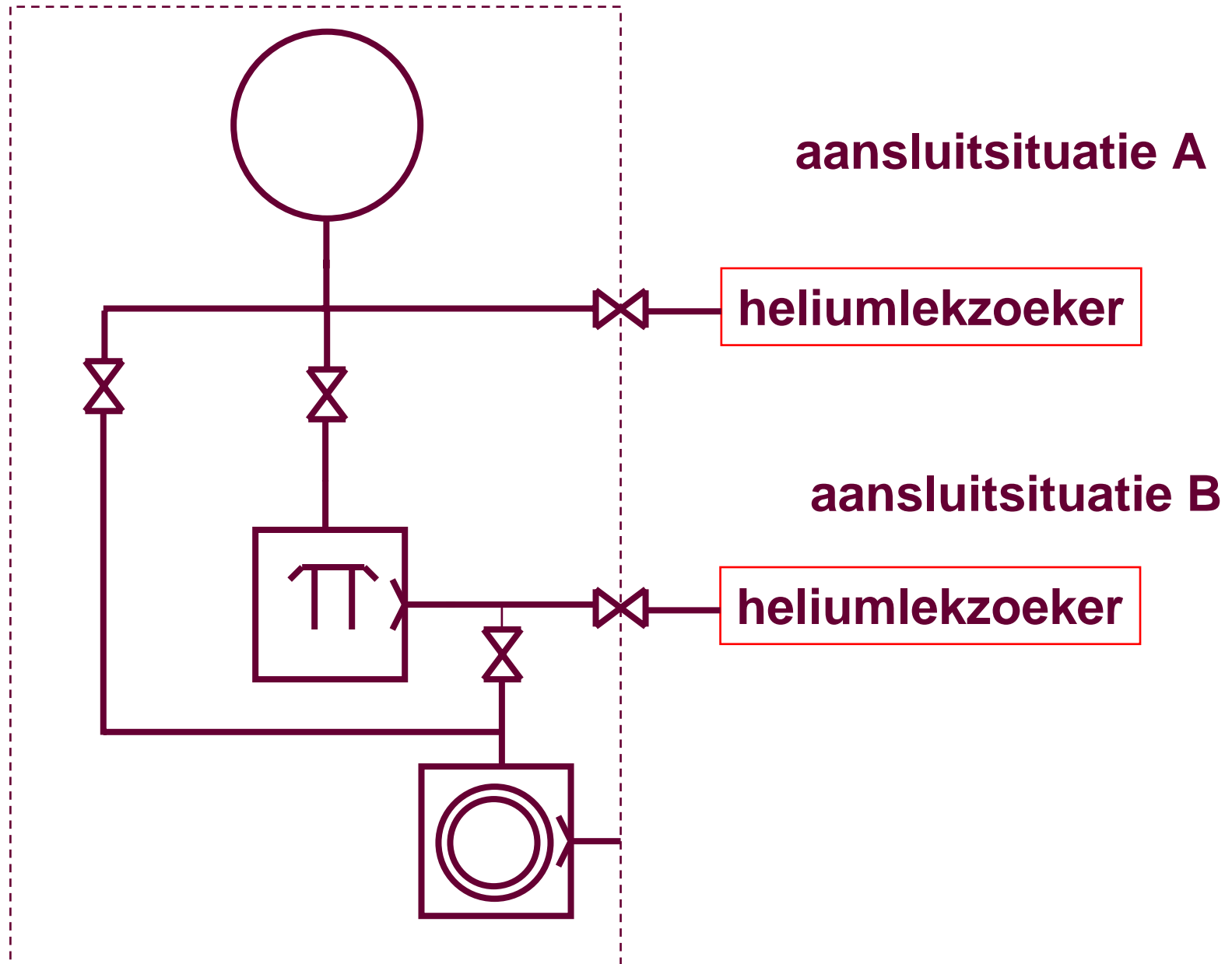
Schematische weergave



Binnenste HeLZ



Lekzoeken aan bestaande opstelling



Eigenschappen helium en argon t.o.v. lucht

Grootheid / eigenschap (t.o.v. lucht)	helium	argon
Massagetal	4	40
Moleculaire diameter (nm)	0,218	0,367
Gemiddelde vrije weglengte bij 1 Pa (m)	0,0193	0,0068
Correctiefactor voor ionisatiemanometer ¹	6,5	0,68
Vermenigvuldigingsfactor voor pompsnelheid diffusiepomp	1,5	0,9
Vermenigvuldigingsfactor voor pompsnelheid turbomoleculairepomp	0,9	1
Vermenigvuldigingsfactor voor pompsnelheid getterionenpomp diodetype	0,1	0,03
Vermenigvuldigingsfactor voor pompsnelheid getterionenpomp triodetype	0,3	0,25
Vermenigvuldigingsfactor voor verandering laminair geleidingsvermogen	0,93	0,83
Vermenigvuldigingsfactor voor verandering moleculair geleidingsvermogen	2,7	0,85

Helium als testgas

laminaire stroming in lekkanaal:

$$\frac{C_{He}}{C_l} = \frac{\eta_{lucht}}{\eta_{He}} = 0,93$$

moleculaire stroming in lekkanaal:

$$\frac{C_{He}}{C_l} = \left(\frac{M_{lucht}}{M_{He}} \right)^{\frac{1}{2}} = 2,7$$

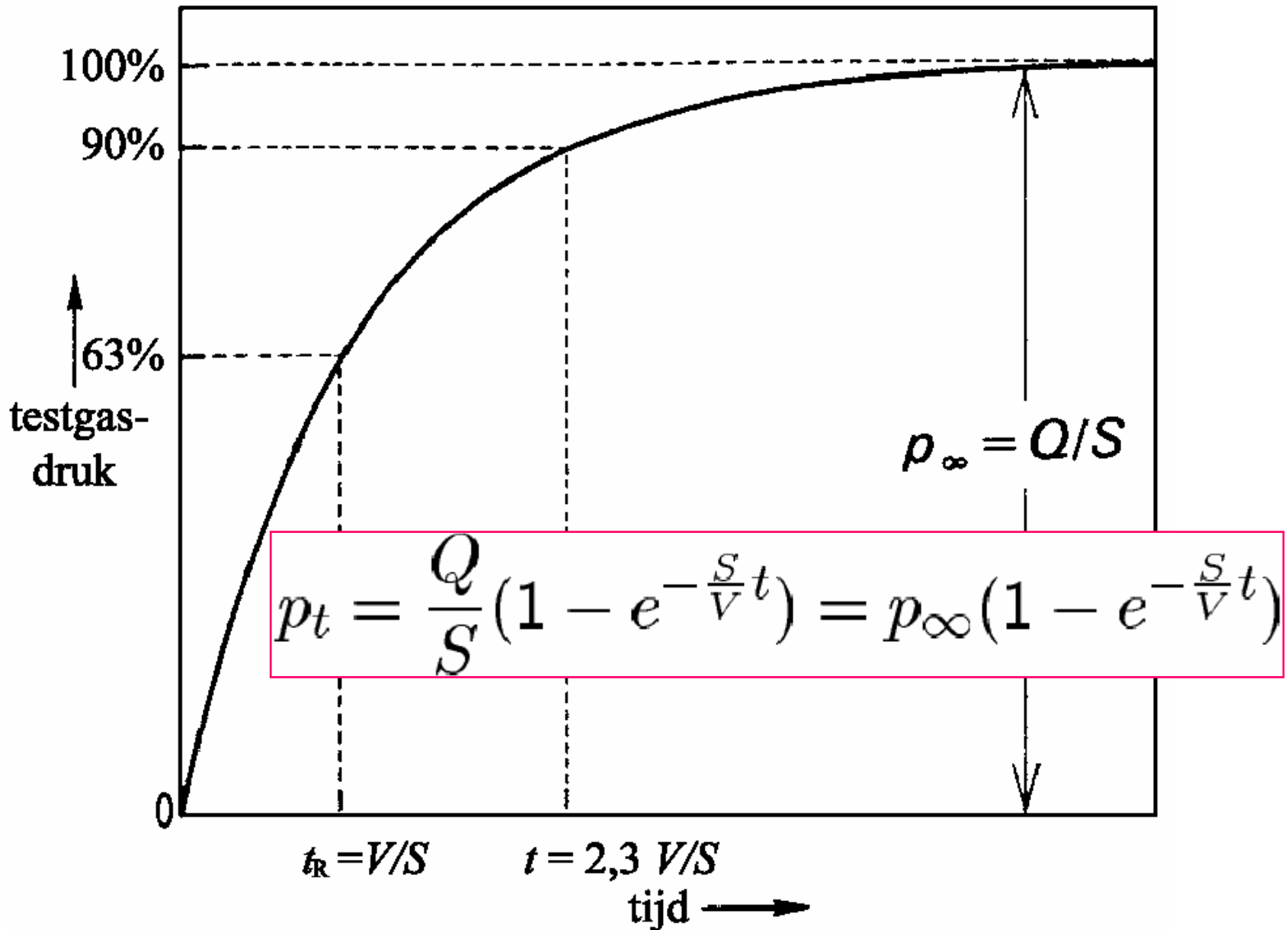
$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_{lam}} + \frac{1}{C_{mol}}$$

$$C_{lam} = \frac{\pi d^4}{128 \eta l} \bar{p}$$

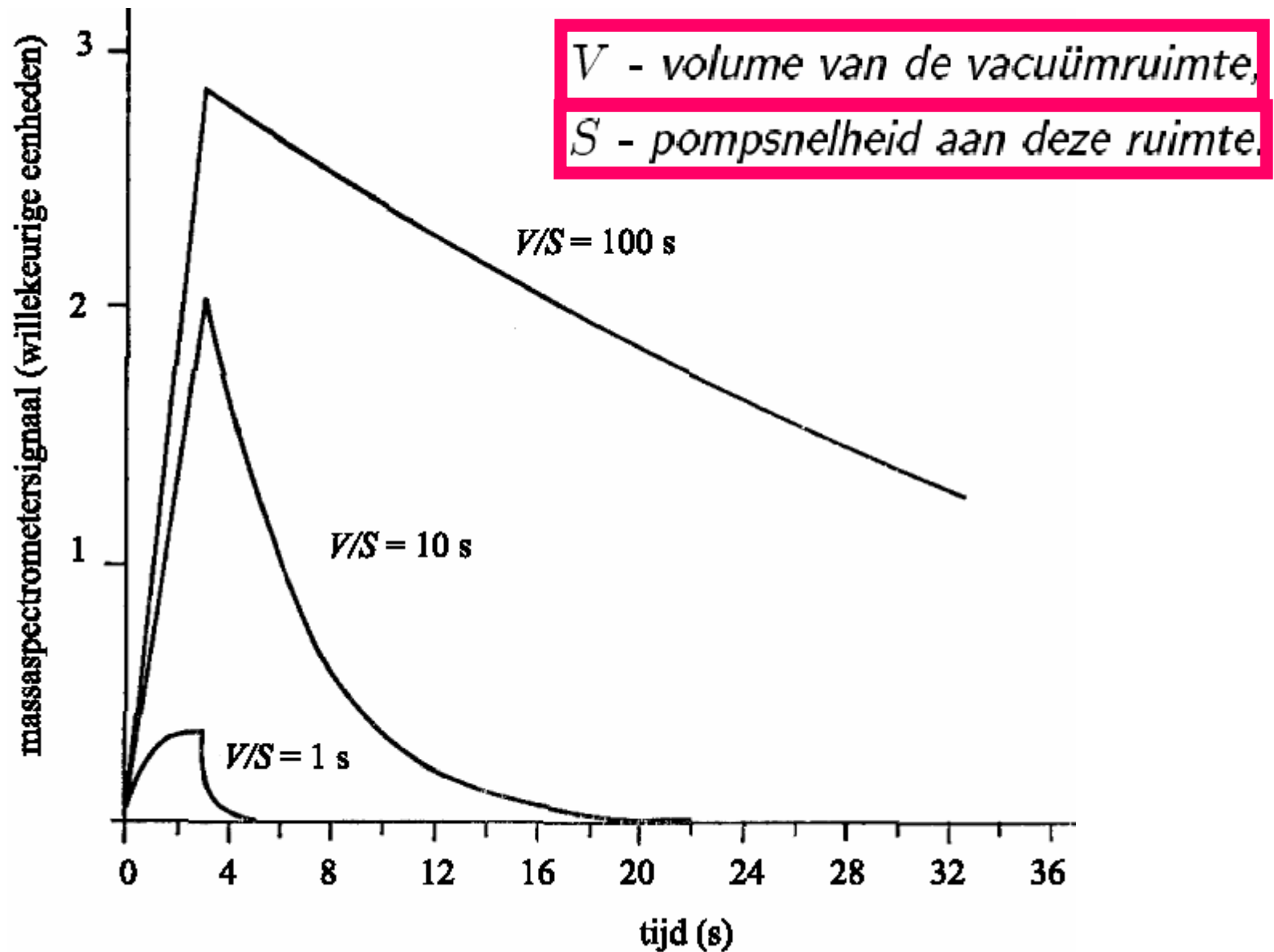
$$C_{lam} \gg C_{mol}$$

$$C_{tot} \approx C_{mol}$$

Verloop van testgasdruk



Testgassignaal als functie van de tijd



Variatie in drukaanwijzing door IM

$$\frac{p_{ta}}{p_{la}} = \frac{C_t S_l}{C_l S_t} \frac{1}{g_t} \left[\text{correctiefactor } g_t \text{ voor het testgas t.o.v. lucht} \right]$$

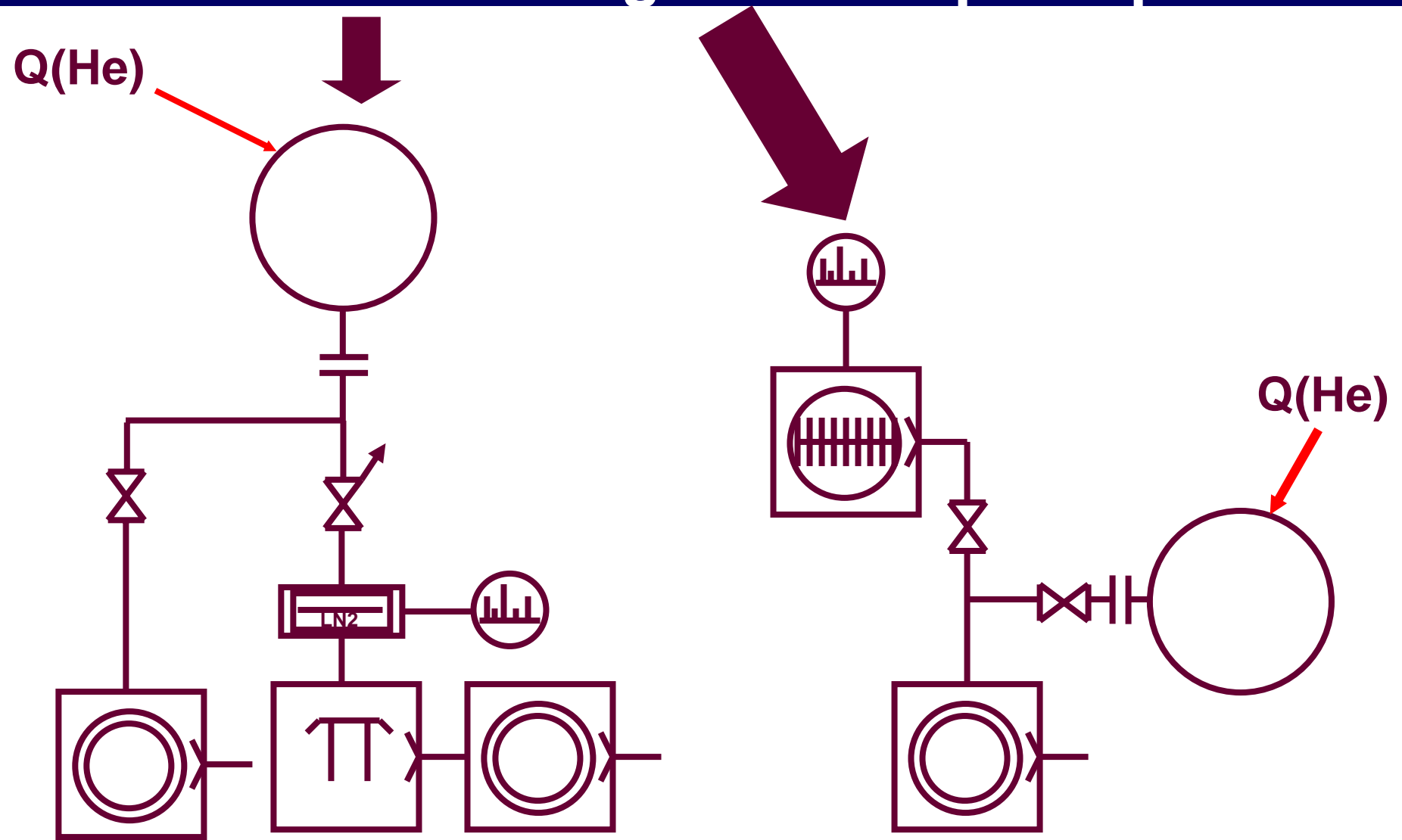
Hoogvacuümpomptype	p_{ta}/p_{la}
Diffusiepomp	0,3
Turbomoleculairepomp	0,5
Getterionenpomp diodetype	4,2
Getterionenpomp triodetype	1,4

Lekzoeken met je eigen systeem

Gas	Gauge sensitivity (relative to nitrogen)	Pumping speed of ion pump	Pumping speed of ion + sub. pump
Air	1.2	400	1400
Helium	0.15	100	100
Argon	1.4	100	100

Gas	Gauge far from pump	Gauge at ion pump	Gauge at ion + sub. pump
Helium	0.18	2.4	8.4
Argon	1.7	5.6	20

Hoofd- en tegenstroomprincipe



Gevoeligheid HeLZ hoofdstroomprincipe

$$Q_{lz} = p_{ms} S_{ms}$$

- ❑ Q_{lz} = door lekzoeker gemeten lekwaarde
- ❑ p_{ms} = partiële heliumdruk in de massaspectrometer
- ❑ S_{ms} = pompsnelheid voor helium ter plaatse van de massaspectrometer

$$Q_{lz;\min} = 10^{-10} \times 0,02 = 2 \times 10^{-12} \text{ Pam}^3/\text{s}$$

$$Q_{lz;\max} = 10^{-2} \times 0,02 = 2 \times 10^{-4} \text{ Pam}^3/\text{s}$$

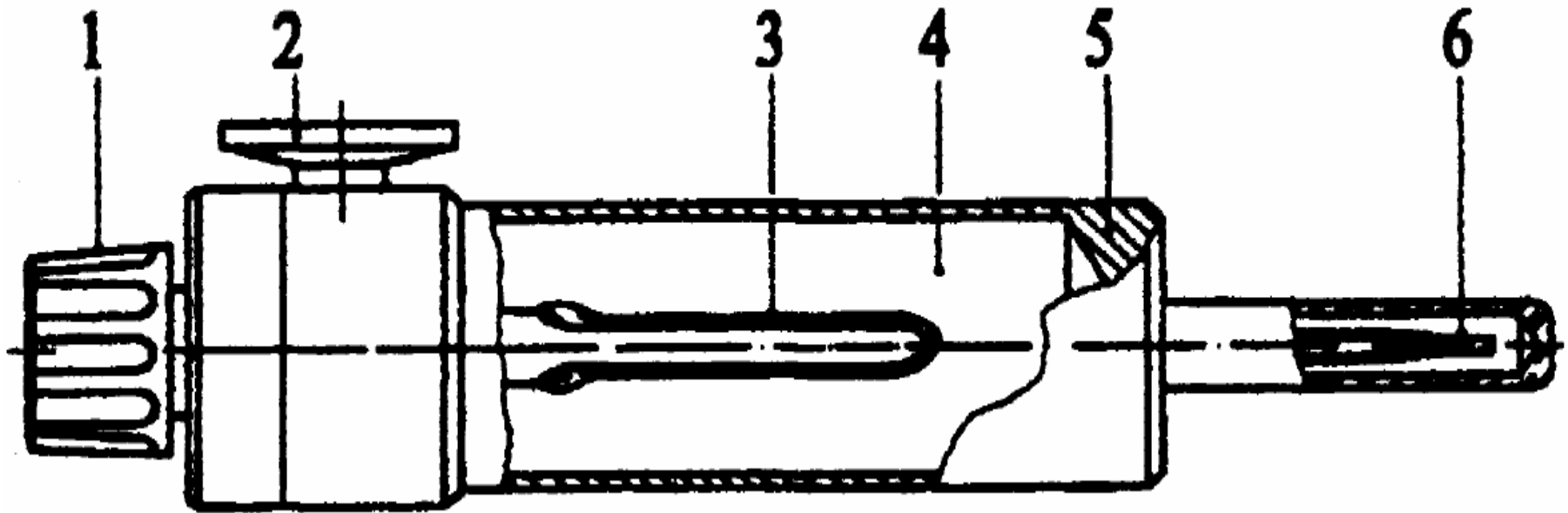
Gevoeligheid HeLZ tegenstroomprincipe

$$Q_{lz;\min} = 2 \times 10^{-11} \text{ Pam}^3/\text{s}$$

$$Q_{lz;\max} = p_{v;\max} S_{lz} = 6 \times 10^{-3} \text{ Pam}^3/\text{s}$$

In deze berekening zijn we uitgegaan van een 'conventionele' turbomoleculairepomp (TMP). Met de komst van hybride molecuulairpompen (HMP) zijn echter veel hogere maximale voorvacuümdrukken $p_{v;\max}$ toelaatbaar. Een verder voordeel van een HMP is, dat een membraanpomp als voorvacuümpomp kan worden toegepast, waarmee een volledig droog lekzoekapparaat is verkregen.

Doorsnede testlek voor heliumlekzoeker



1. afsluiter
2. vacuümaansluiting
3. voor helium permeabele glaswand
4. heliumvoorraad
5. roestvrij stalen huls
6. afgesealde vulopening

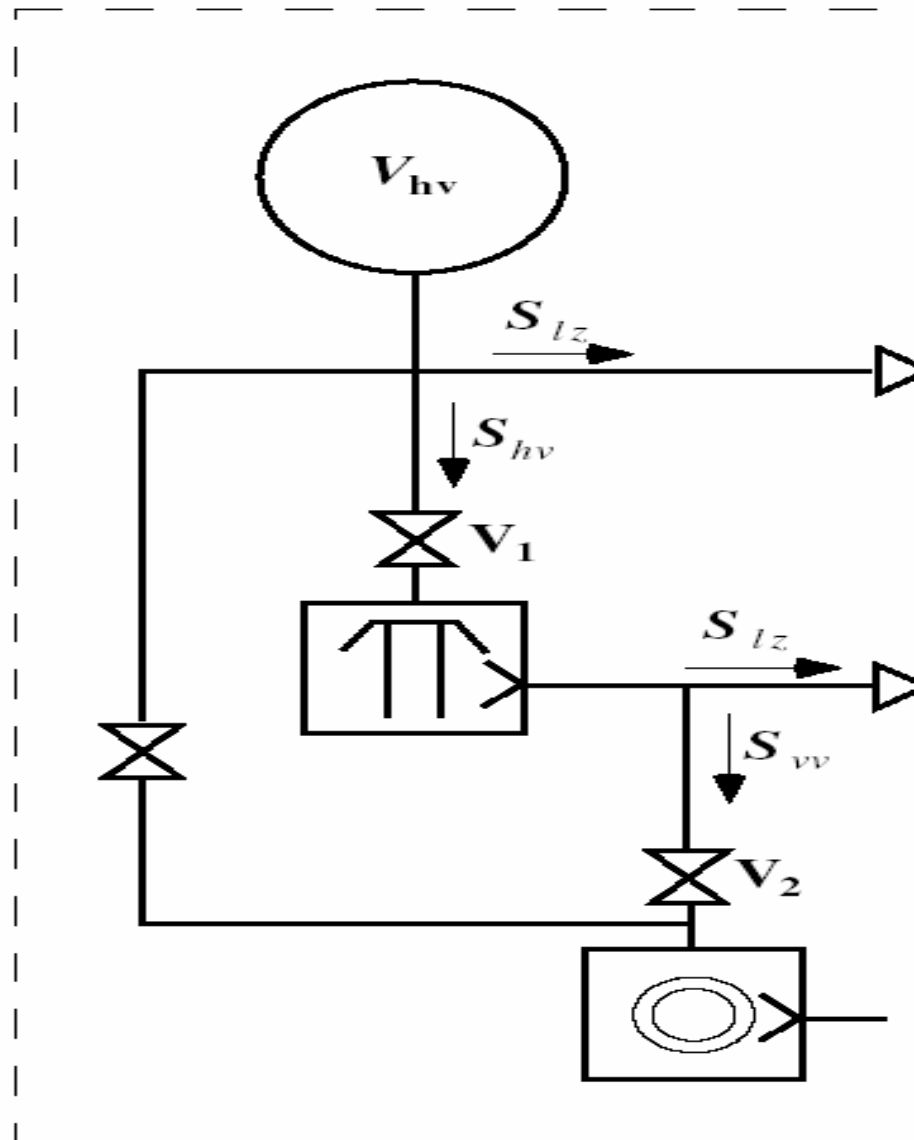
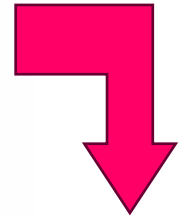
Aansluitmogelijkheden

$$t_r = \frac{V_{hv}}{S_{tot}} + \varepsilon$$

aansluitsituatie A



aansluitsituatie B



te testen hoogvacuümsysteem

$$t_r \approx \frac{V_{hv}}{S_{hv}} + \frac{V_{vv}}{S_{vv} + S_{lz}}$$

Voorbeeldberekening aansluitingssituatie A

$$Q_{lz} = Q_{lek} \frac{S_{lz}}{S_{lz} + S_{hv}} = Q_{lek} \frac{S_{lz}}{S_{tot}} \quad \longrightarrow \quad S_{lz} = \frac{C S_{ms}}{C + S_{ms}}$$

$$t_r = \frac{V_{hv}}{S_{tot}} + \varepsilon \quad \longleftarrow \quad Q_{lz} = Q_{lek} \frac{C S_{ms}}{S_{tot}(C + S_{ms})$$

$$S_{ms} = 0,02 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{a})$$

$$S_{hv} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{b})$$

$$C = 0,01 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{c})$$

$$S_{lz} = 0,007 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_{tot} = S_{lz} + S_{hv} = 0,107 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{e})$$

V1 dicht: gevoeligheid
stijgt factor 17

$$Q_{lz} = 0,06 Q_{lek}$$

$$V_1 \text{ gesloten} \longrightarrow Q_{lz} = Q_{lek}$$

Voorbeeldberekening aansluiting A

Door V_1 dicht te draaien stijgt derhalve de gevoeligheid van de meetmethode met een factor 17!

Daartegenover daalt S_{tot} van

$$S_{tot} = S_{lz} + S_{hv} \approx 0,107 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{f})$$

naar

$$S_{tot} = S_{lz} \approx 0,007 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{g})$$

Hierdoor stijgt de responstijd t_r met een factor 15. Of t_r hiermee onaanvaardbaar lang wordt, hangt af van de grootte van het te testen volume V_{hv} .

Stel:

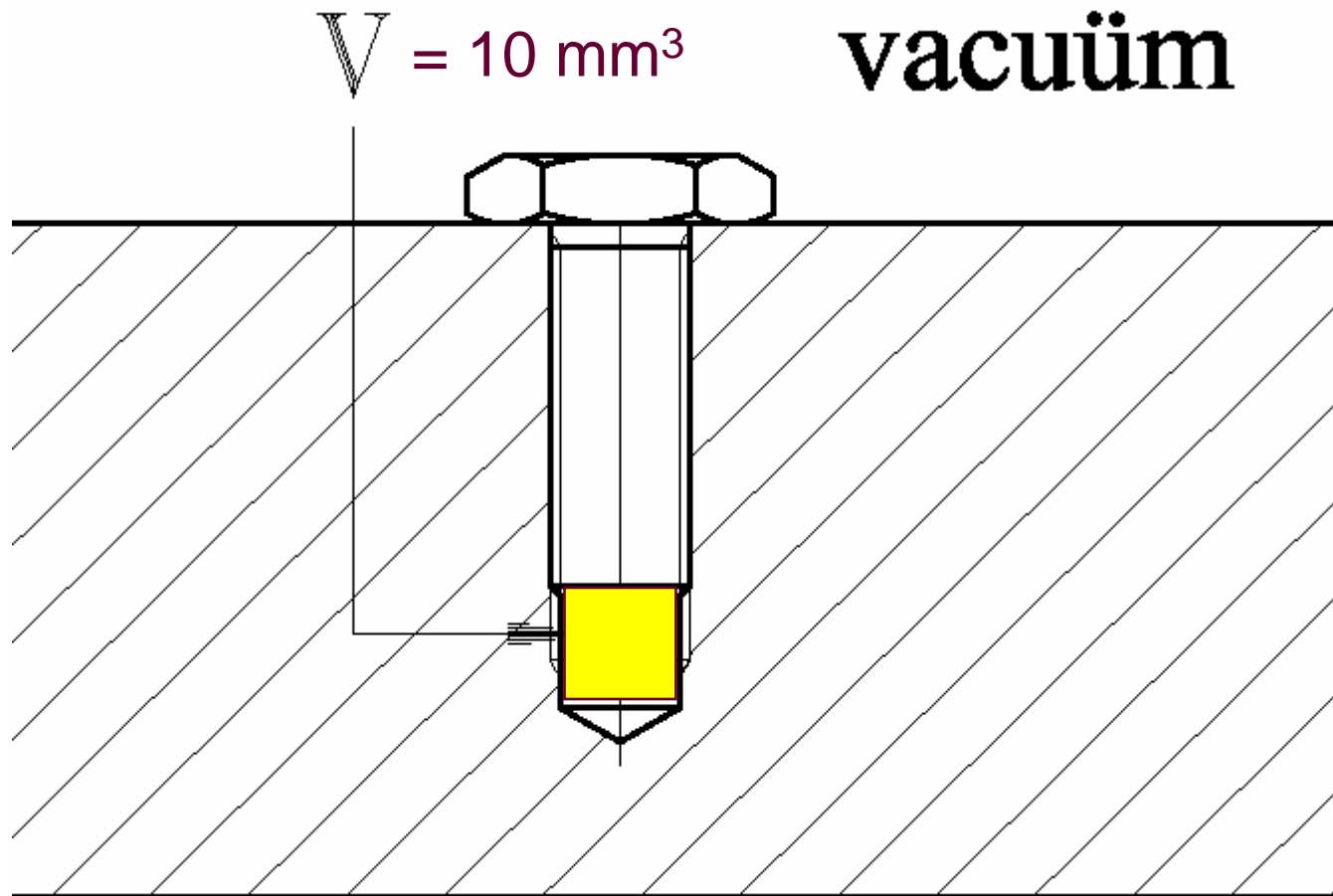
$$V_{hv} = 0,01 \text{ m}^3 \quad (\text{h})$$

Uit (f), (g) en (h) valt dan met (8.24) eenvoudig te berekenen

$$V_1 \text{ open} \rightarrow t_r \approx 0,1 \text{ s}$$

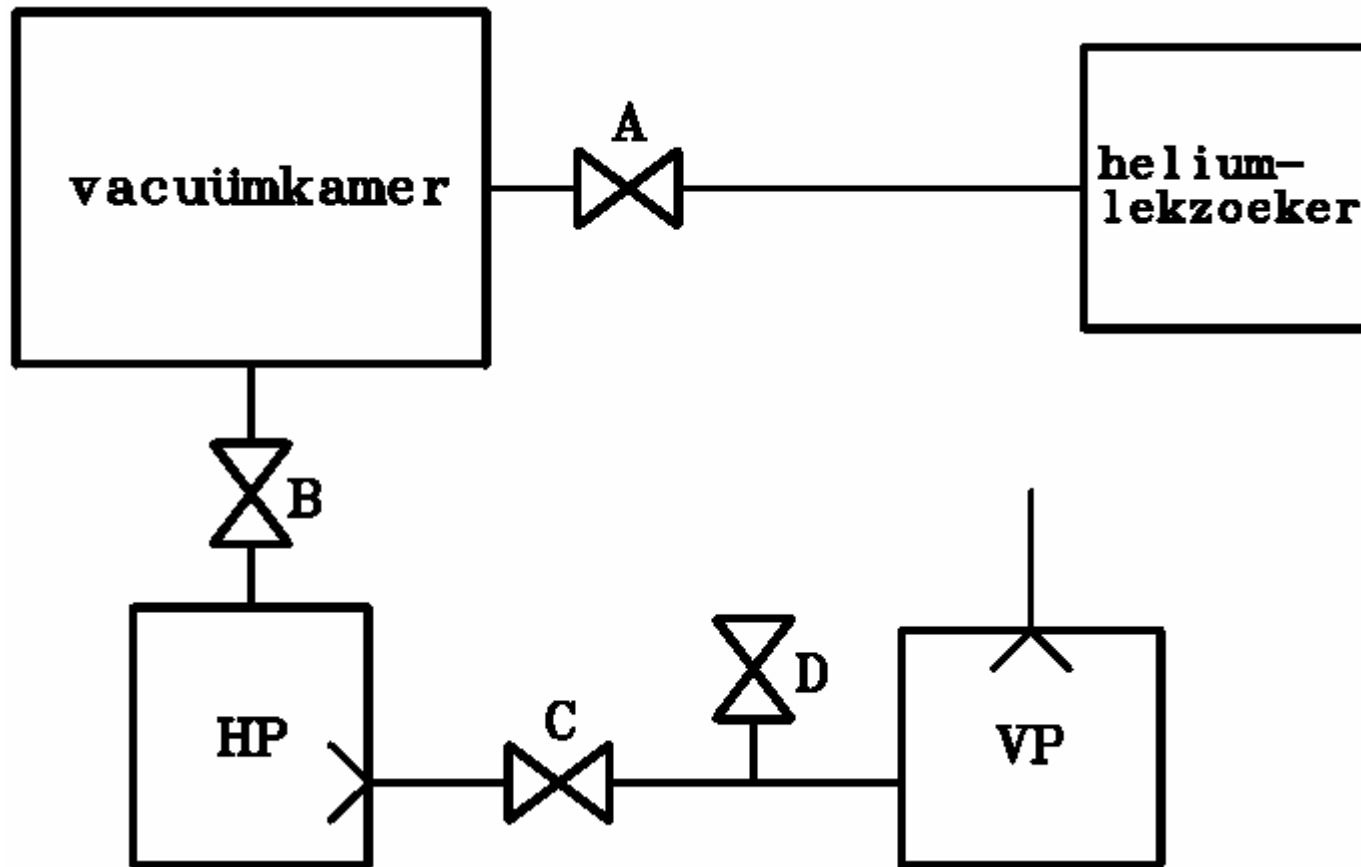
$$V_1 \text{ gesloten} \rightarrow t_r \approx 1,5 \text{ s}$$

Oefening 8.2*



$$C = 10^{-8} \text{ l/s}$$

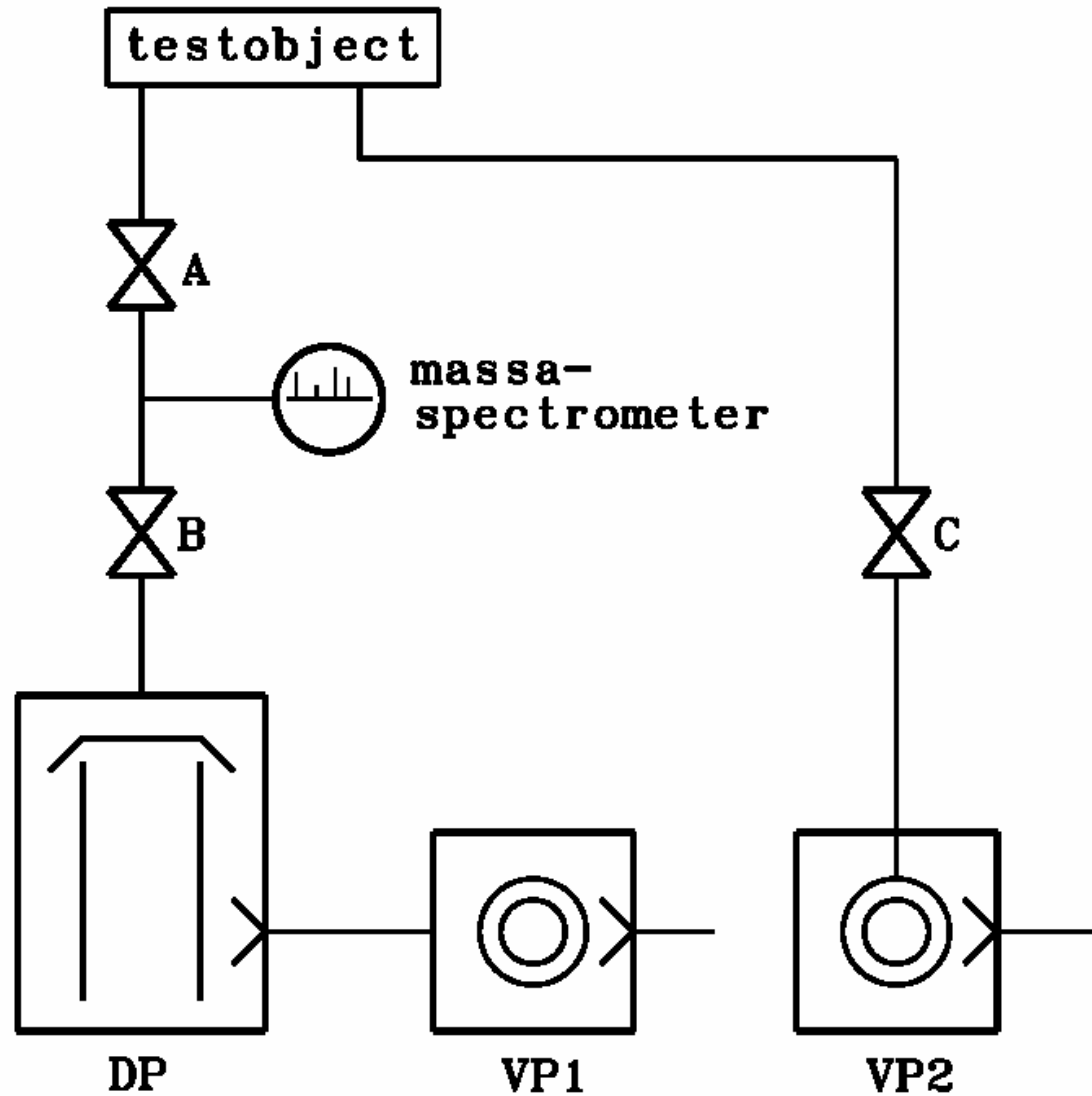
Oefening 8.4



$$\sqrt{\frac{M_{lucht}}{M_{helium}}} = \sqrt{\frac{28,8}{4}} = 2,68$$

- Neem de figuur over en zet er de gegevens in

Oefening 8.5



- Neem de figuur over en zet de gegevens er in