



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UMCS
UNIWERSYTET MIECZYŃSKO-CURIE-SKŁODOWSKIEJ
W LUBLINIE

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Technologia UHV

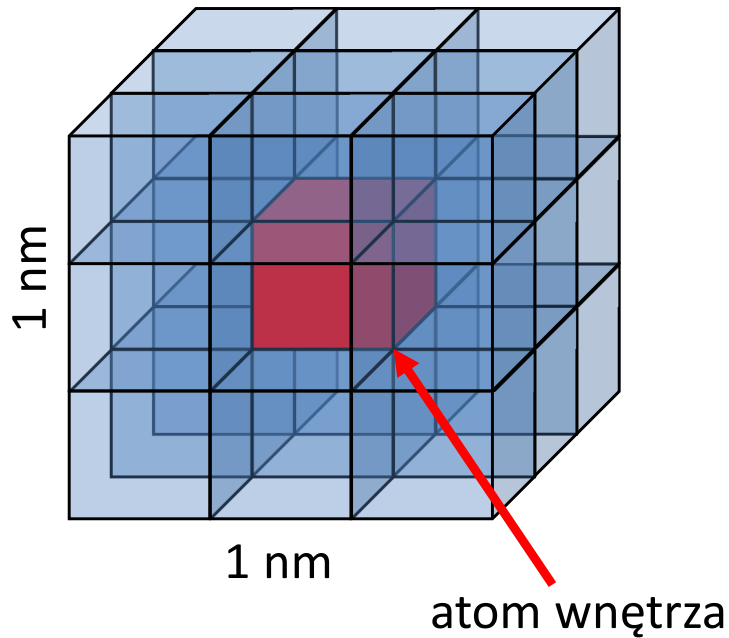
Mieczysław Jałochowski

Spis treści

1. Rozmiary cząstki a rola powierzchni.
2. Źródła gazu w komorze próżniowej.
3. Pompowanie w idealnym układzie próżniowym.
4. Szybkość pompowania i nieszczelność.
5. Desorpcja gazu.
6. Bilans pompowania, desorpcji i adsorpcji.
7. Przepływ gazu.
8. Przewodność gazu w układzie.
9. Pompa rotacyjna.
10. Pompa dyfuzyjna .
11. Pompa jonowa .
12. Pompa jonowa - szybkość pompowania.
13. Pompy turbomolekularna, sublimacyjna i kriogeniczna
14. Głowica jonizacyjna

Rozmiary cząstki a rola powierzchni

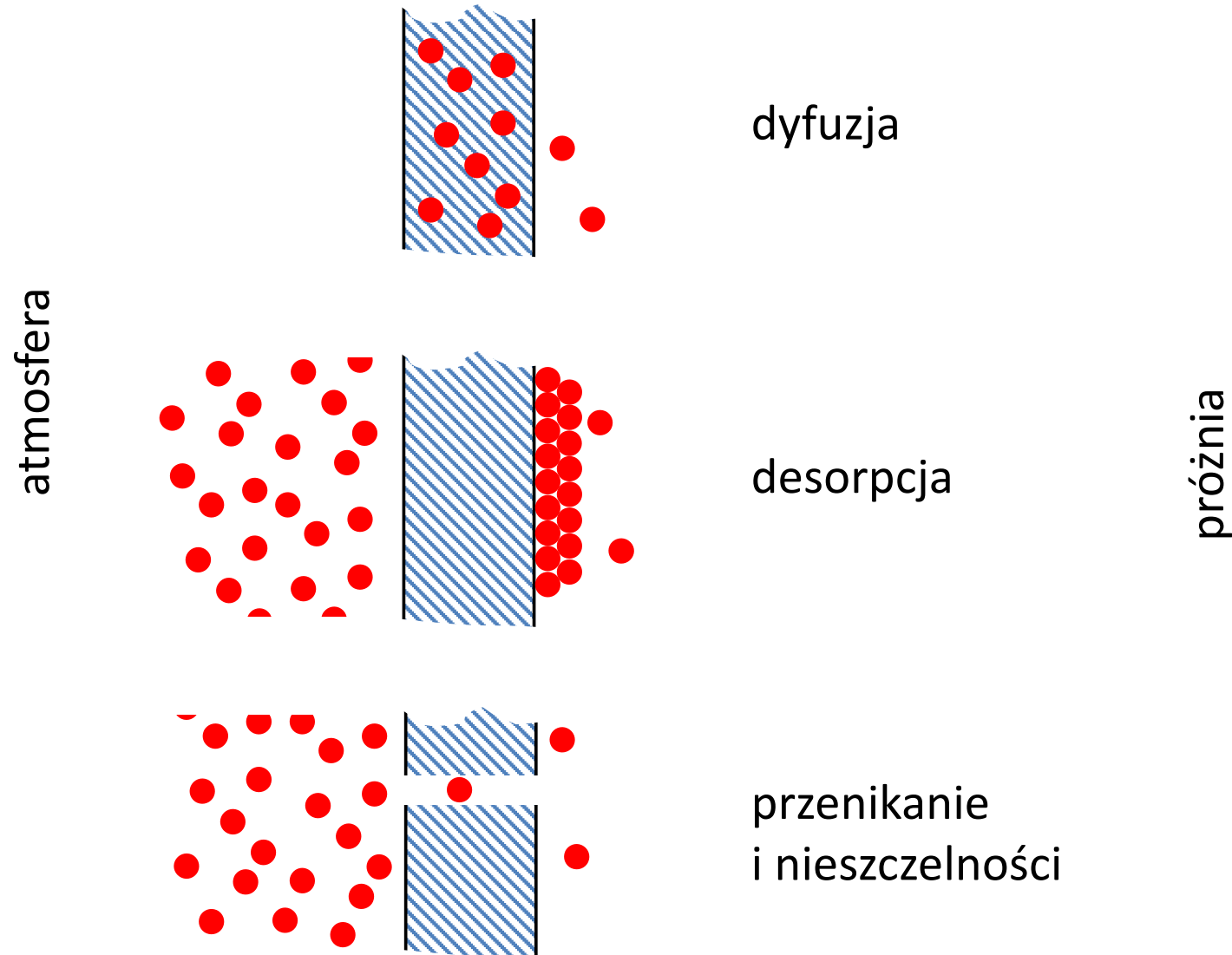
Wpływ rozmiarów na stosunek liczby atomów powierzchni do liczby atomów wnętrza kryształu



	1 nm	1 μm	1 mm
Liczba atomów wnętrza	1	$2,7 \times 10^{10}$	$2,7 \times 10^{19}$
Liczba atomów na powierzchni	26	$5,4 \times 10^7$	$5,4 \times 10^{13}$
Stosunek l. at. powierzchni do l. at. wnętrza	0,96	2×10^{-3}	2×10^{-6}

Czystość powierzchni zapewnia próżnia. Jaka próżnia?

Źródła gazu w komorze próżniowej



Parametry cząstek w próżni

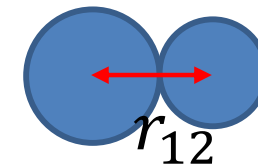
Według rozkładu Maxwella-Boltzmana średnia prędkość cząstki wynosi:

$$\bar{v} = \left[\frac{8kT}{\pi m} \right]^{1/2}$$

Liczba molekuł uderzających w jednostkową powierzchnię na sek. :

$$I = \frac{1}{4} N_V \bar{v} \quad \text{Średnia droga swobodna:} \quad \Lambda_M = (\sqrt{2} N_V q)^{-1}$$

Przekrój czynny na zderzenie cząstek: $q = \pi r_{12}^2$



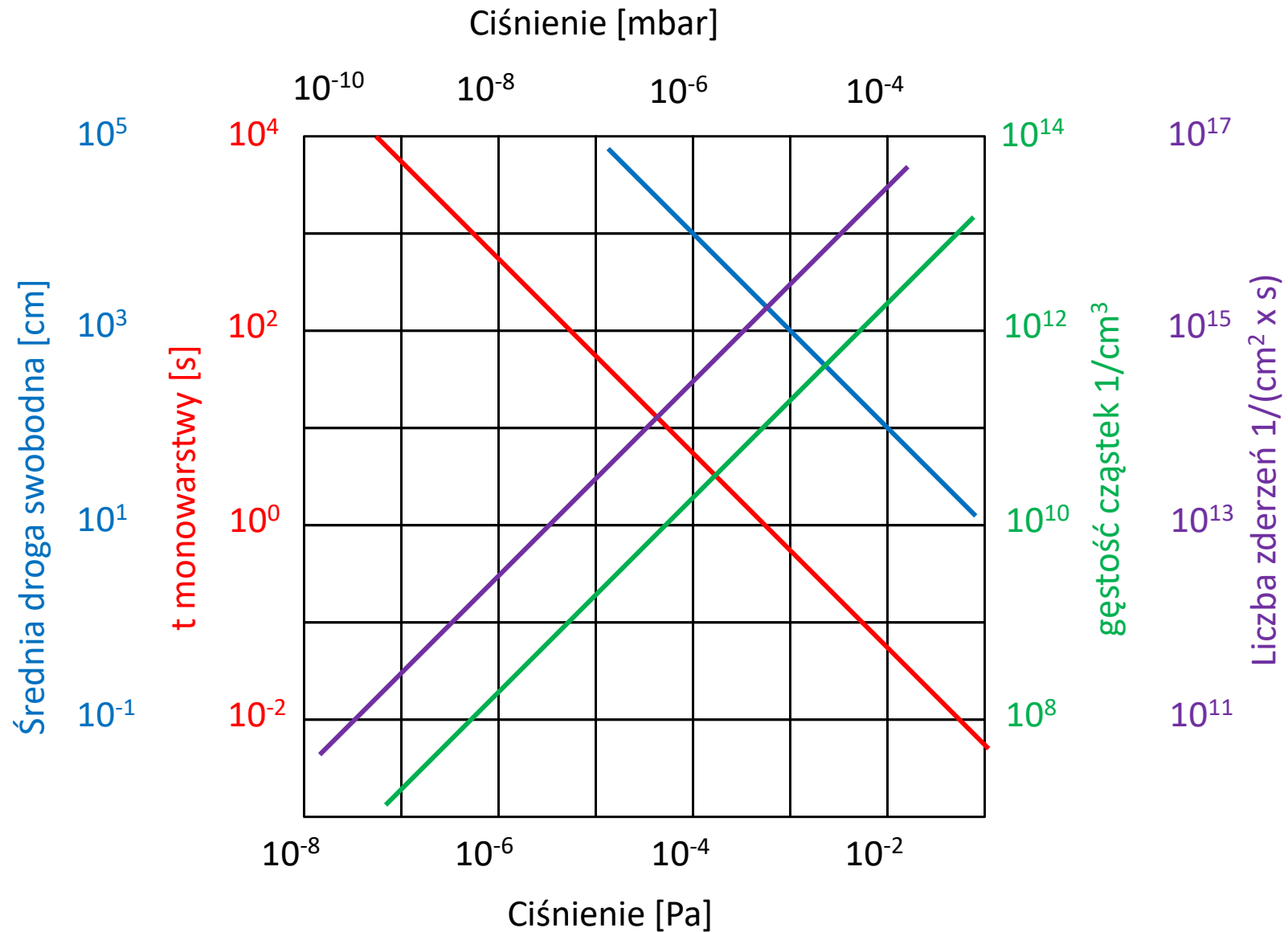
Przykład:

Masa cząstki N_2 wynosi $4,7 \times 10^{-23}$ g

Przekrój czynny q wynosi $4,4 \times 10^{-19}$ m²

Jeśli każda uderzająca w powierzchnię cząstka pozostanie na powierzchni to czas pokrycia tej powierzchni monowarstwą molekuł zależy od ciśnienia, w temp. 300K , jak na rysunku:

Parametry cząstek w próżni



Pompowanie w idealnym układzie próżniowym

Jeśli pominiemy desorpcję i adsorpcję wówczas:

$$V \frac{dN_V}{dt} = -\frac{\bar{v}}{4} N_V A_p$$

$$\tau = \frac{1}{\nu_0} \exp(E/RT)$$

średni czas pozostawania
molekuły na powierzchni

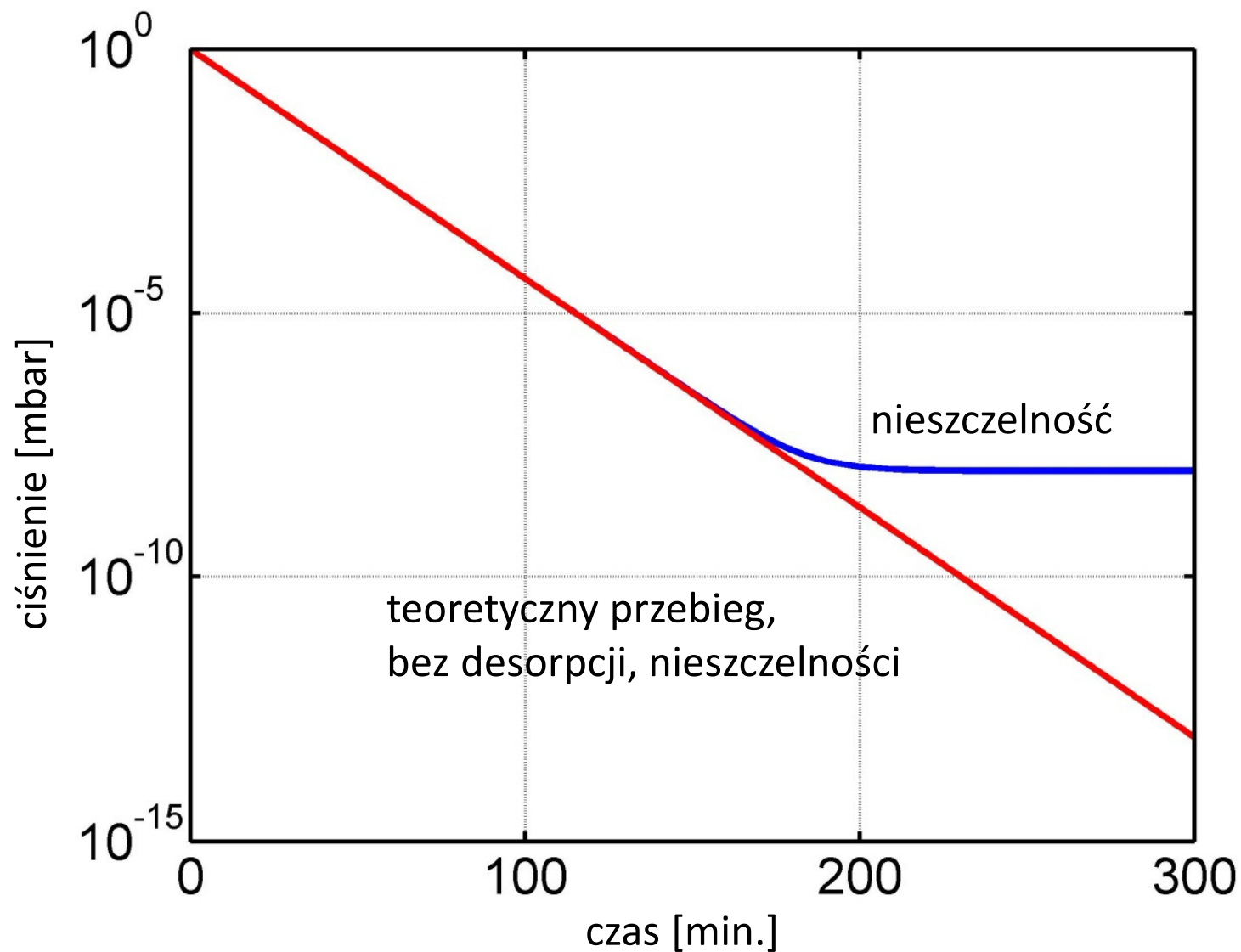
gdy:

$$\nu_0 = 10^{-13} \text{ s}^{-1}, \quad E = 42 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}, \quad T = 300\text{K}, \quad \tau = 2 \mu\text{s}$$

dla wody $E \sim 90 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ $\tau \sim \text{godziny}$

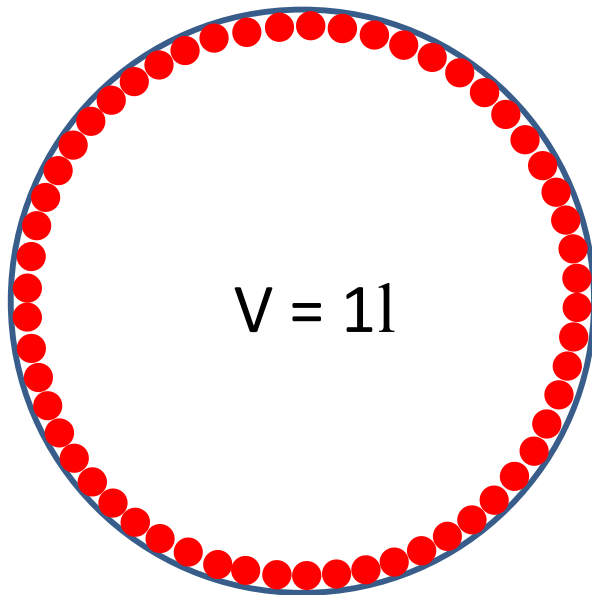
Ciśnienie powinno maleć wykładniczo z czasem !

Szybkość pompowania i nieszczelność



Desorpcja gazu

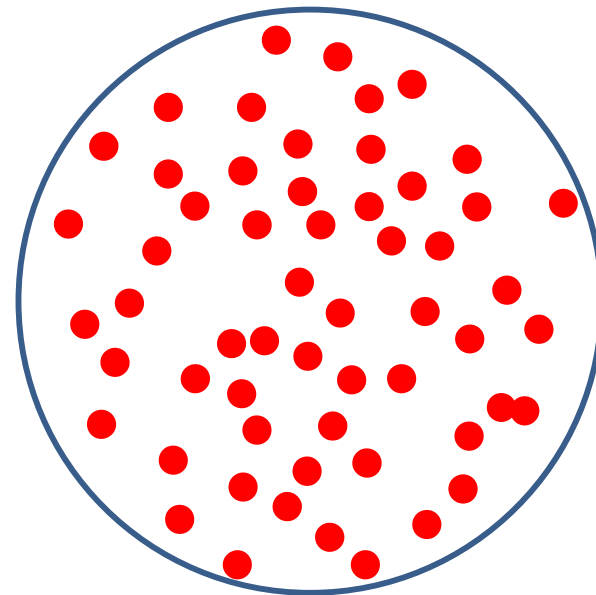
$P = 0$



$V = 11$

niska temperatura,
1 ML cząsteczek N_2
zaadsorbowana na ścianie

$P = 1,25 \text{ Pa}, (1,25 \times 10^{-2} \text{ mbar})$



$T = 300 \text{ K},$
całkowita desorpcja

Bilans pompowania, desorpcji i adsorpcji

Równanie szybkości pompowania układu próżniowego dla objętości:

$$V \frac{dN_V}{dt} = -\frac{\bar{v}}{4} N_V A_p + \frac{N_s A_s}{\tau} - \frac{\bar{v}}{4} N_V S A_s$$

Gaz pompowany

Gaz desorbowany

Gaz ponownie adsorbowany

V - objętość komory

N_V - gęstość molekuł w komorze

A_p - efektywna powierzchnia pompy

N_s - gęstość molekuł na powierzchni komory

A_s - powierzchnia komory

S - współczynnik przylegania

$$\tau = \frac{1}{\nu_0} \exp(E_{des}/RT)$$

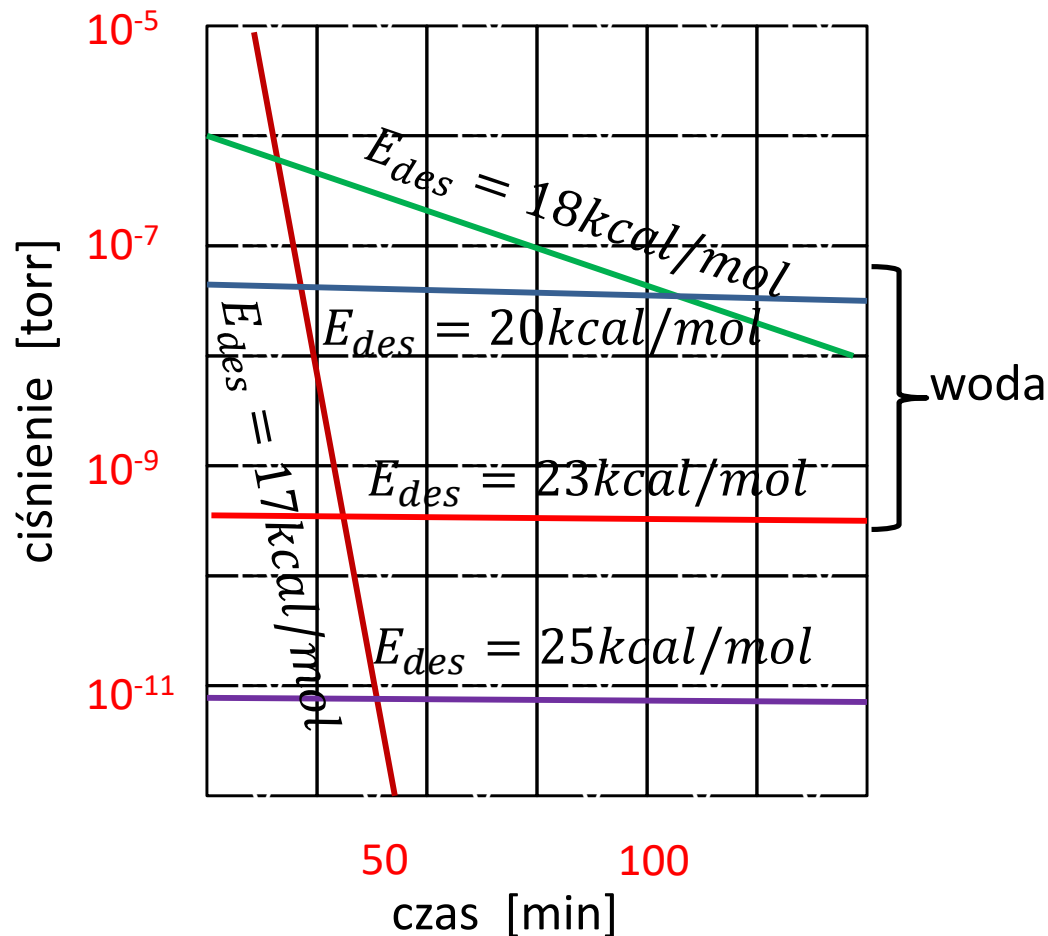
i równocześnie równanie dla powierzchni:

$$A \frac{dN_s}{dt} = -\frac{N_s A_s}{\tau} + \frac{\bar{v}}{4} N_V S A_s$$

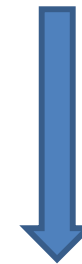
Desorpcja

obliczenia dla: powierzchnia = 100 cm² z 1 ML gazu
objętość = 1l
szybkość pompowania = 1 l/s

t = 300 K



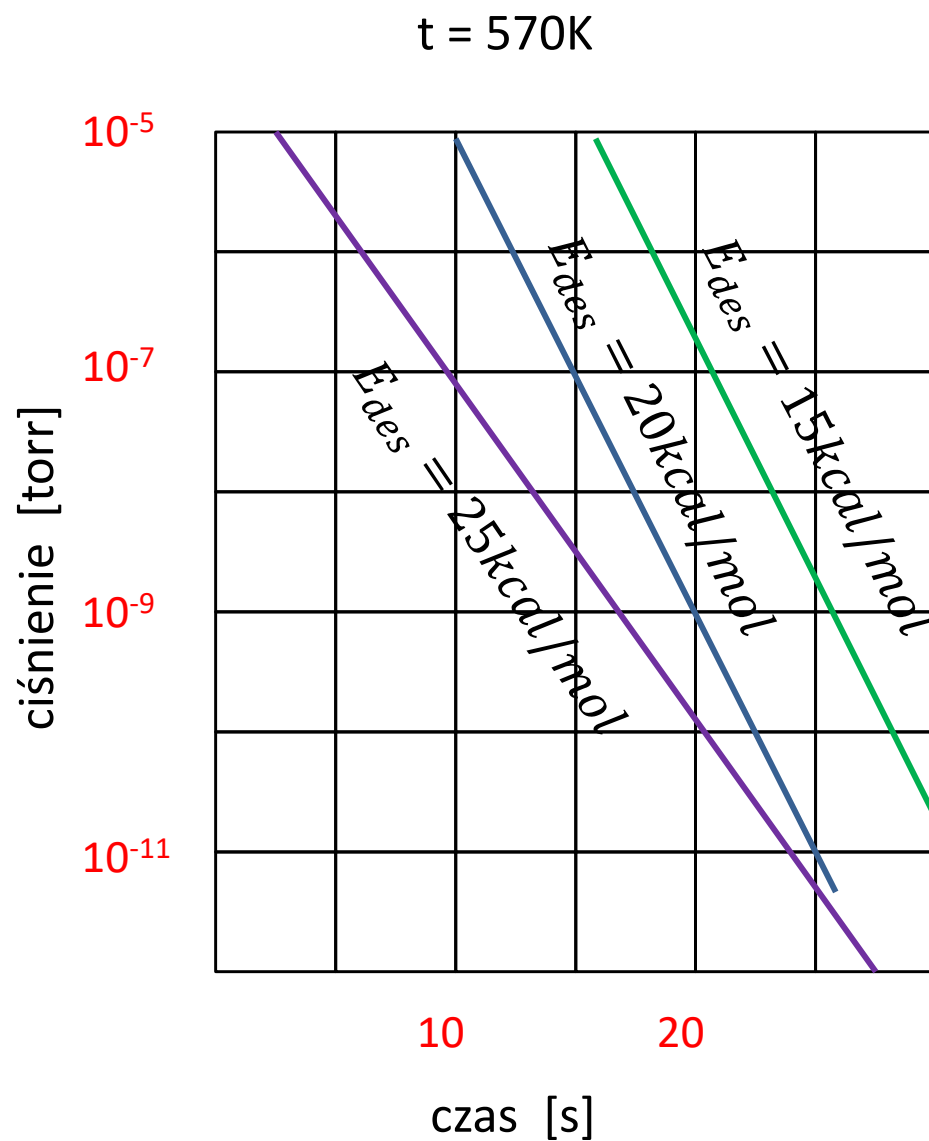
Duża energia desorpcji -



- w temperaturze pokojowej
długi czas odgazowania,
konieczne wygrzewanie

$$1\text{kcal} = 4.18\text{ kJ}$$

Desorpcja



Wygrzewanie skraca
czas odgazowania -

- konieczne aby ścianki
komory nie były źródłem
gazu w temperaturze
pokojowej

Przepływ gazu w przewodach

Liczba Knudsena

$$K_n = \frac{\Lambda}{d}$$

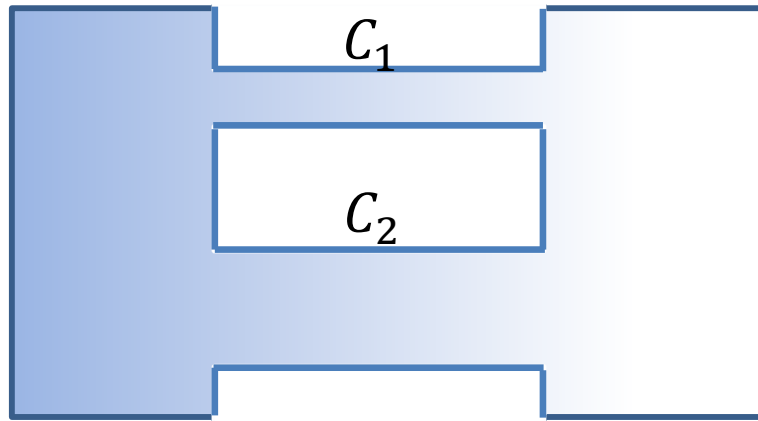


$K_n < 0,01$ przepływ lepki
zderzenia między molekułami

$0,01 < K_n < 1$ obszar przejściowy

$p < 10^{-2}$ mbar $1 < K_n$ – przepływ molekularny
 $d = 100$ mm zderzenia ze ściankami

Przewodność gazu w układzie



$$C = C_1 + C_2$$

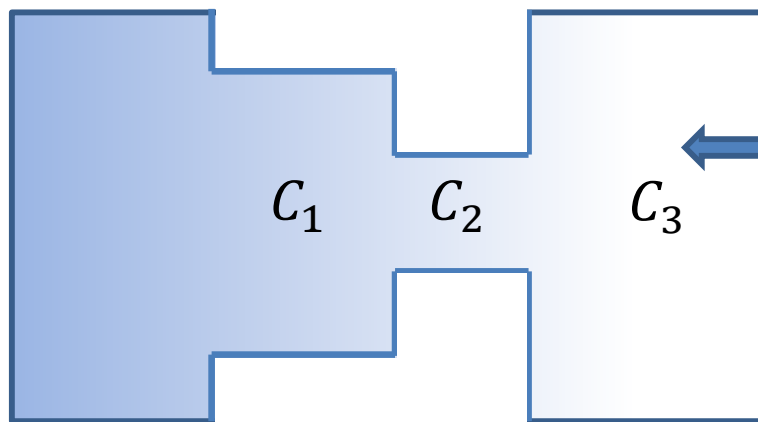
$$I_{mol} = C \Delta p / RT$$

I_{mol} - prąd molekuł

Δp - różnica ciśnień

R - stała gazowa

C - przewodność, [l/s]



To może być pompa

Uwaga na ograniczenie pompowania pompy!

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$$

Przewodność gazu w układzie

Praktyczne zależności:



d – średnica rury,

L – długość rury

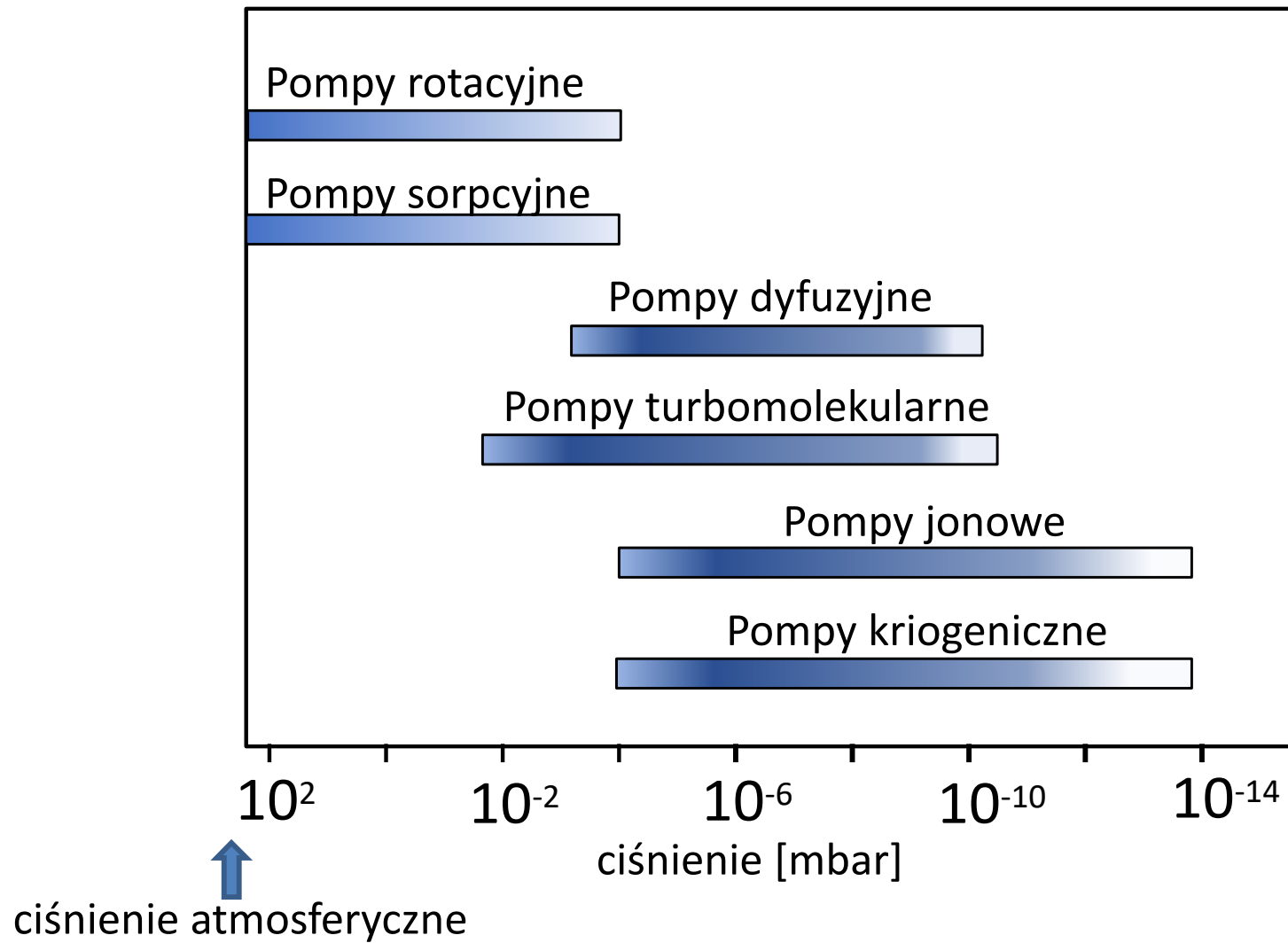
Przepływ lepki

$$C \left[\frac{l}{s} \right] = 137 \frac{d^4 \text{ [cm}^4\text{]}}{L \text{ [cm]}} p \text{ [mbar]}, \quad \text{gdy } pd > 10 \text{ [mbar} \times \text{mm]}$$

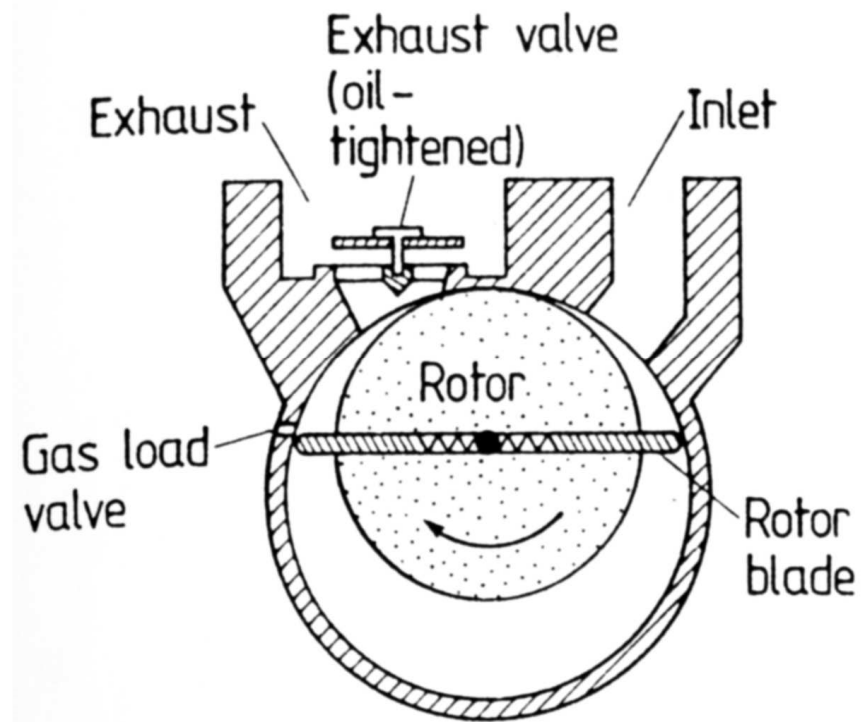
Przepływ molekularny

$$C \left[\frac{l}{s} \right] = 12 \frac{d^3 \text{ [cm}^3\text{]}}{L \text{ [cm]}}, \quad \text{gdy } pd < 0,1 \text{ [mbar} \times \text{mm]}$$

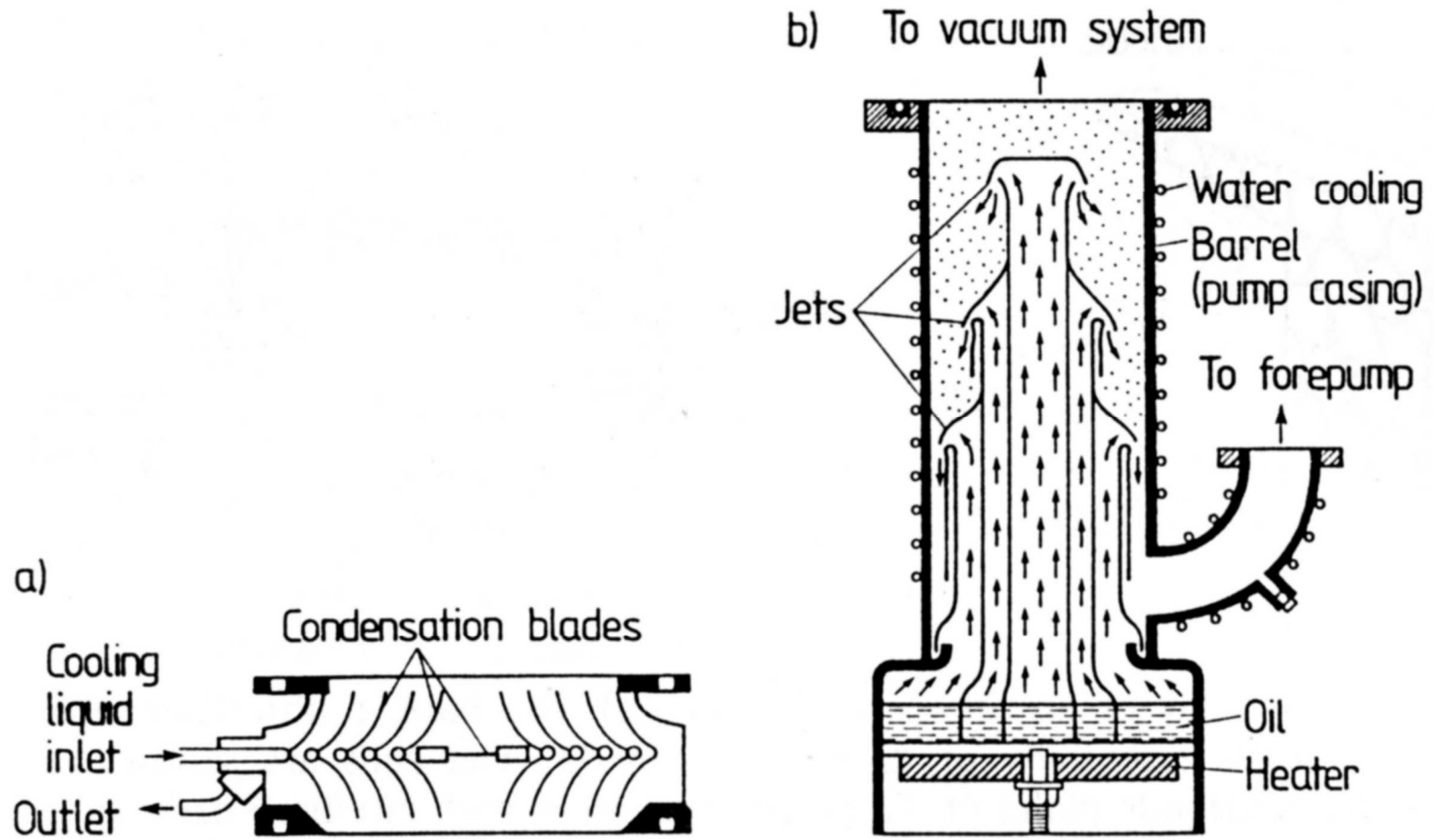
Dobór pomp



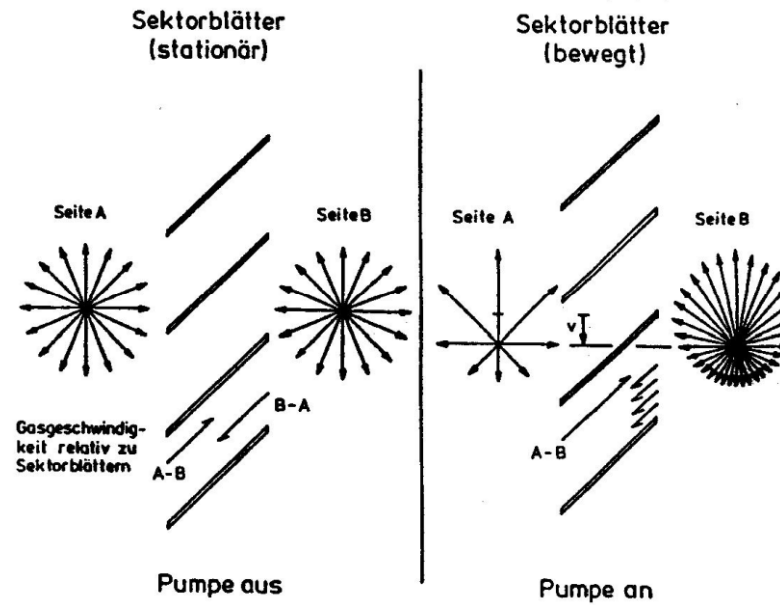
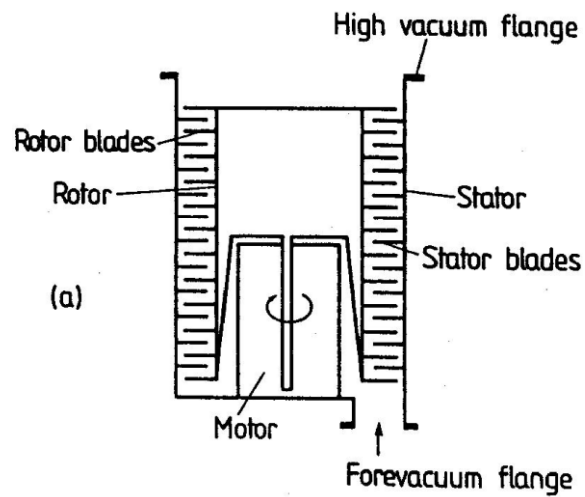
Pompa rotacyjna



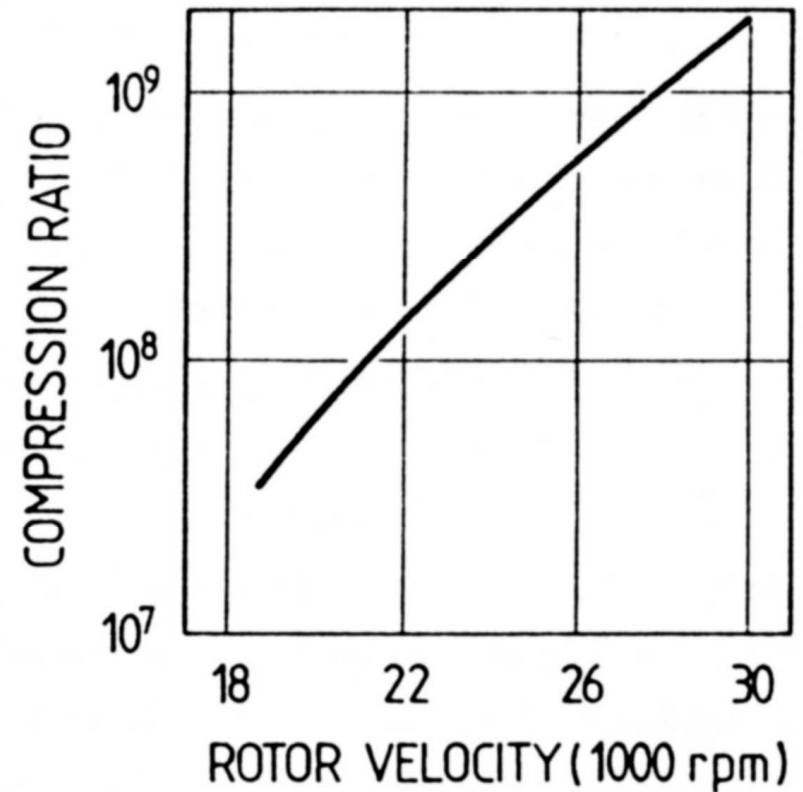
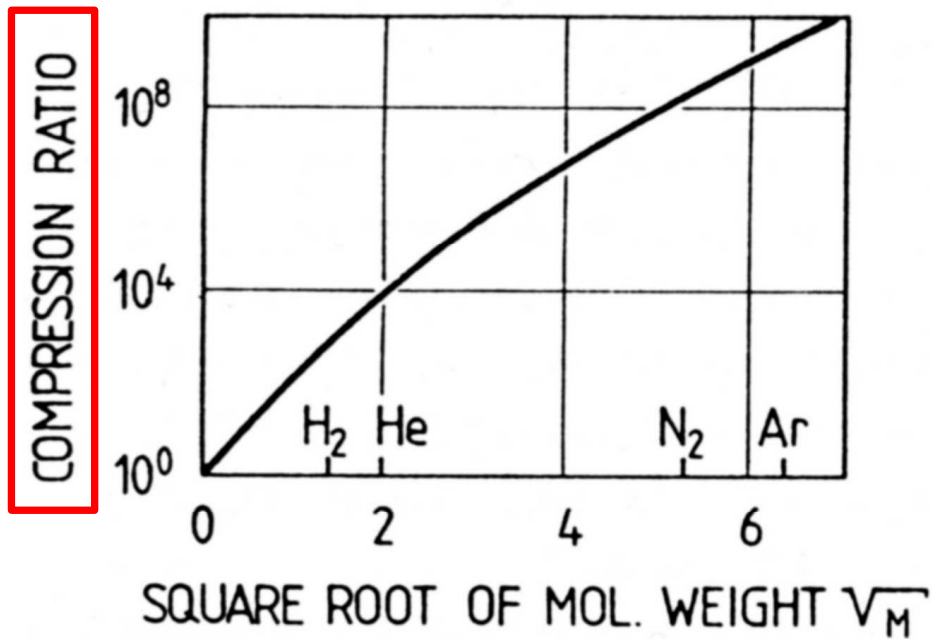
Pompa dyfuzyjna



Pompa turbomolekularna

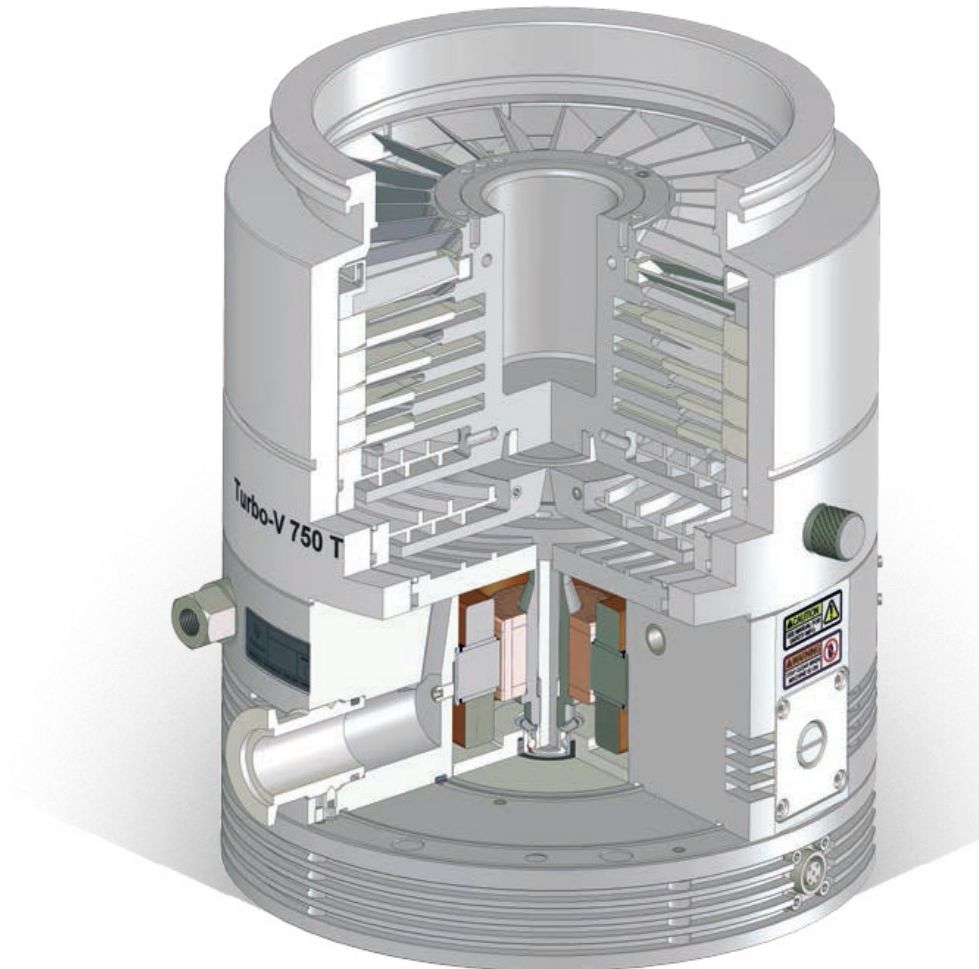


Pompa turbomolekularna



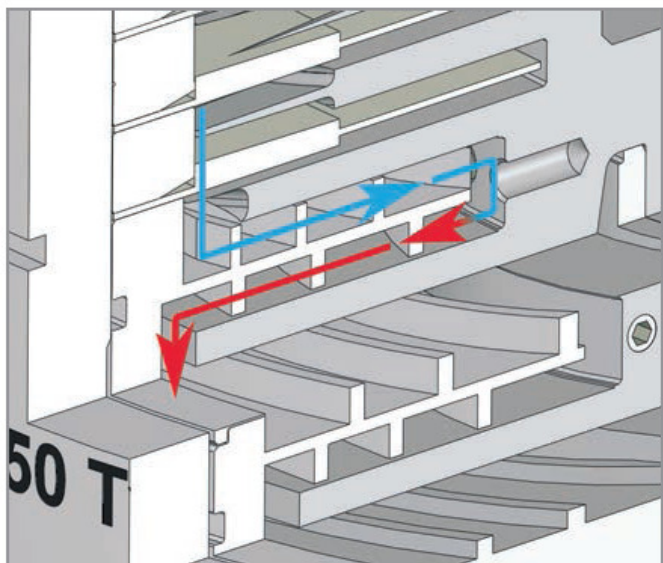
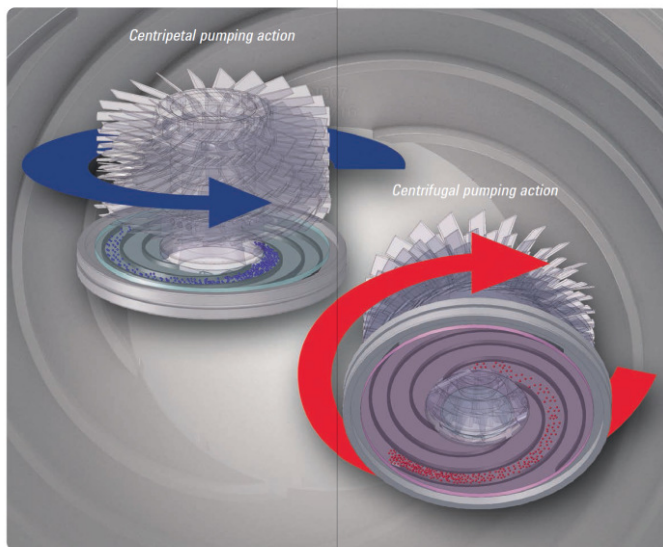
Pompa turbomolekularna ulepszona

Agilent Turbo-V 750 and 850 TwisTorr

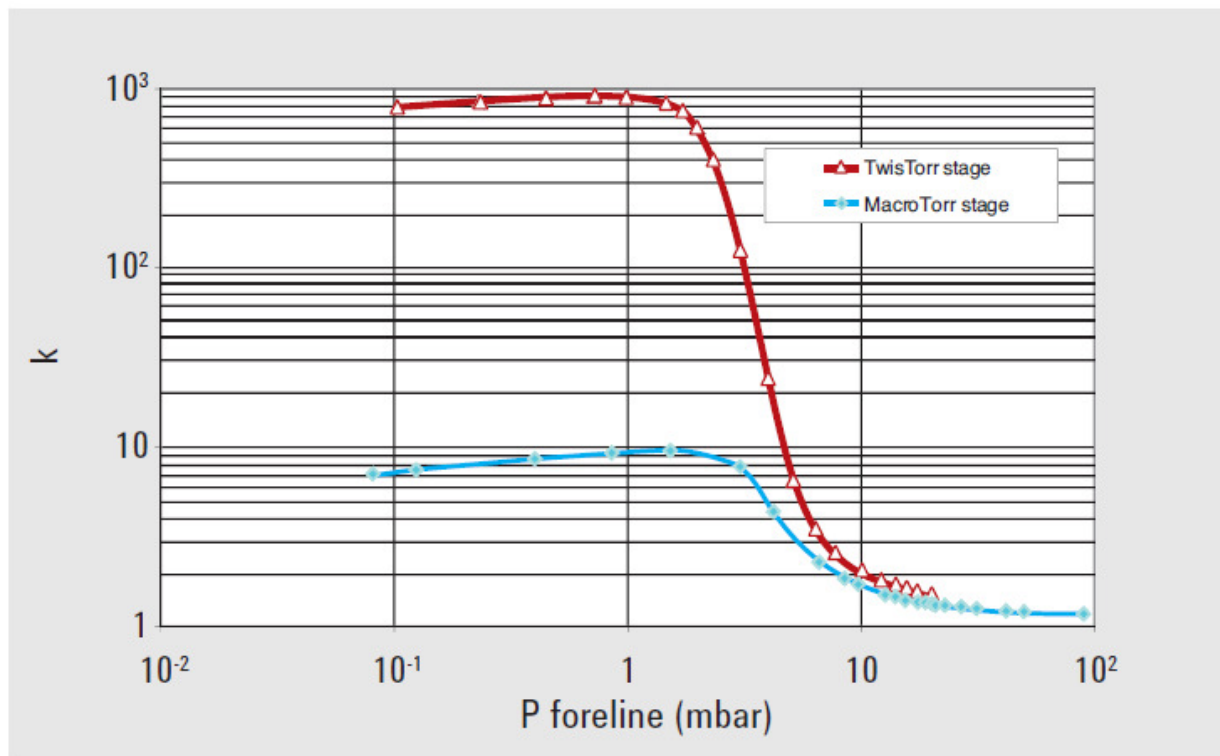


Katalog Agilent Technologies

Pompa turbomolekularna ulepszona

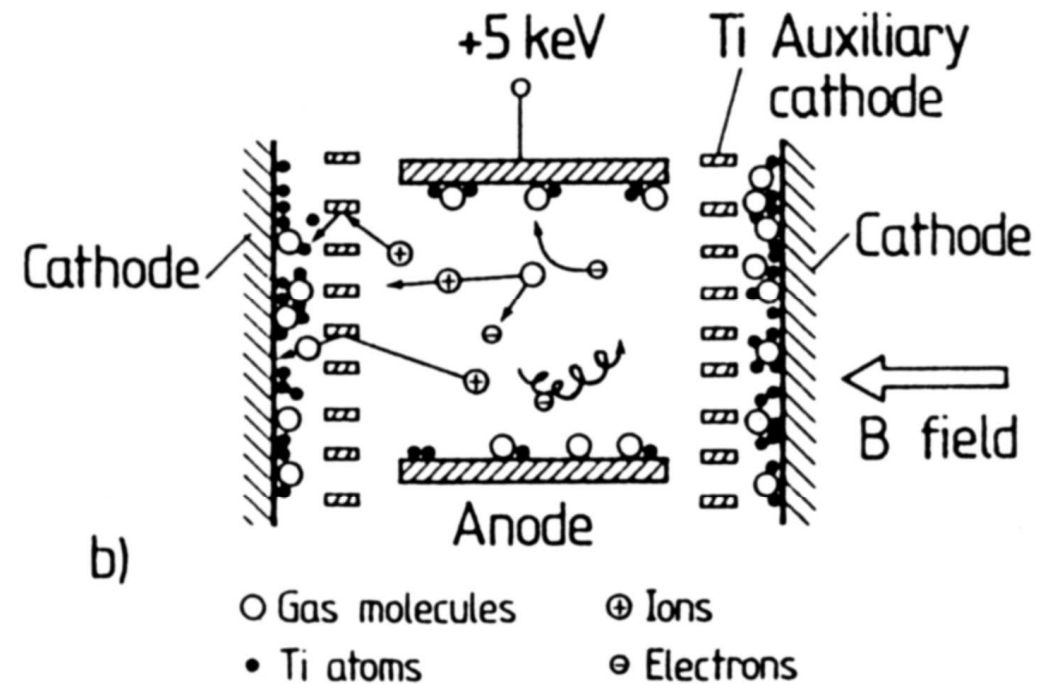
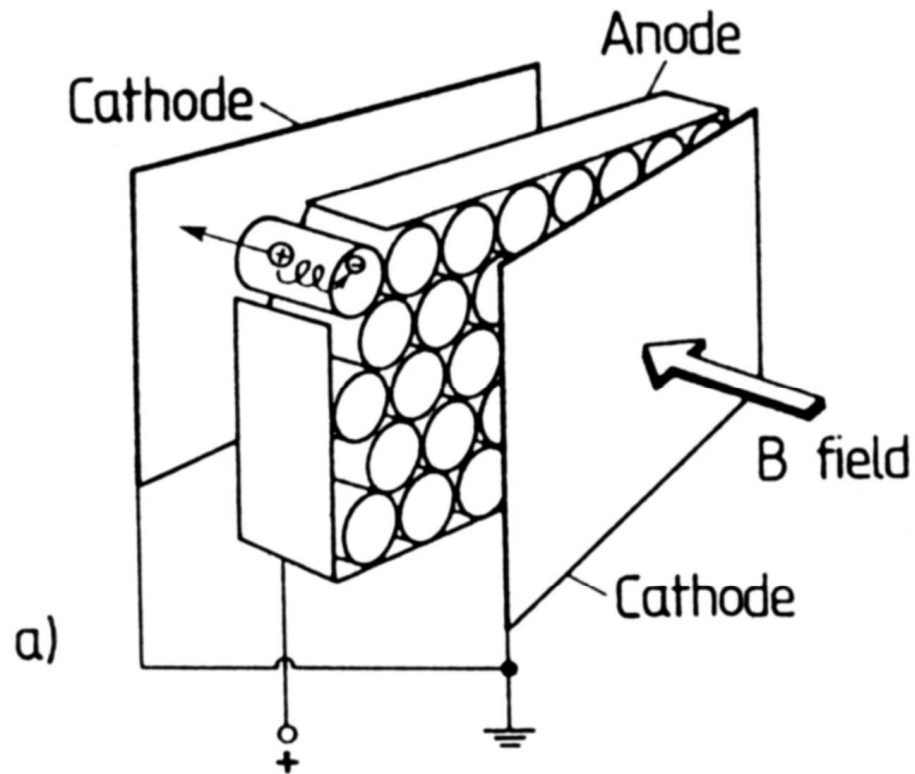


Współczynnik sprężania
jednego tradycyjnego stopnia
i stopnia nowej konstrukcji



Katalog Agilent Technologies

Pompa jonowa



Pompa jonowa

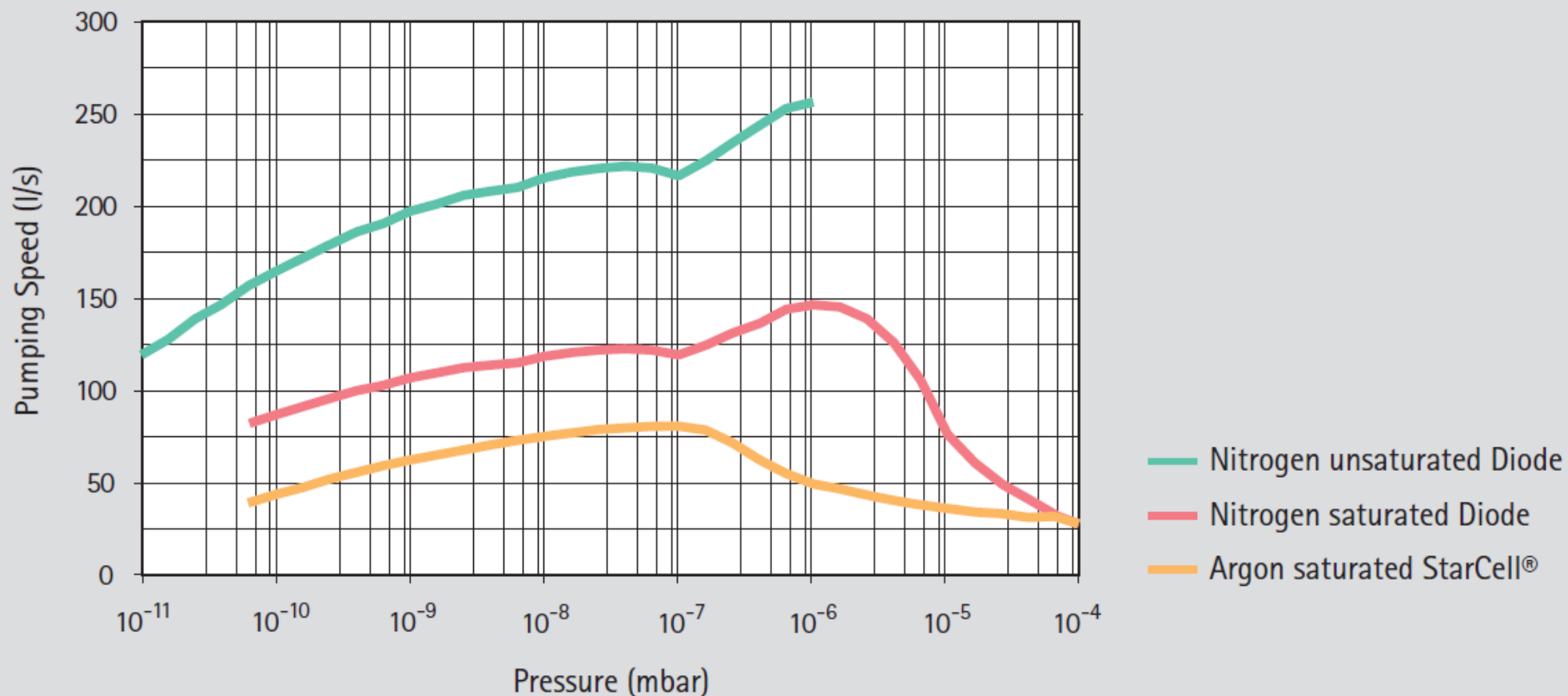
Vaclon *Plus* 150



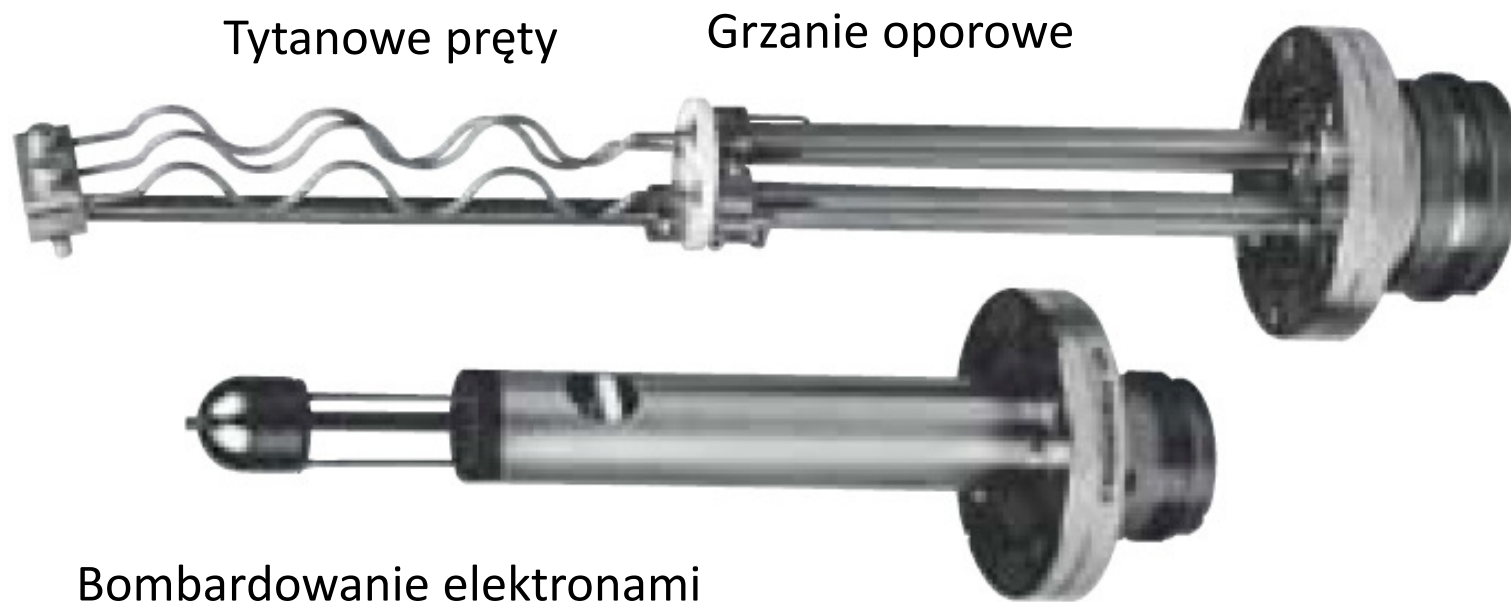
Varian catalog

Pompa jonowa - szybkość pompowania

Vaclon Plus 150 - Pumping Speed vs Pressure



Pompa sublimacyjna



Varian catalog

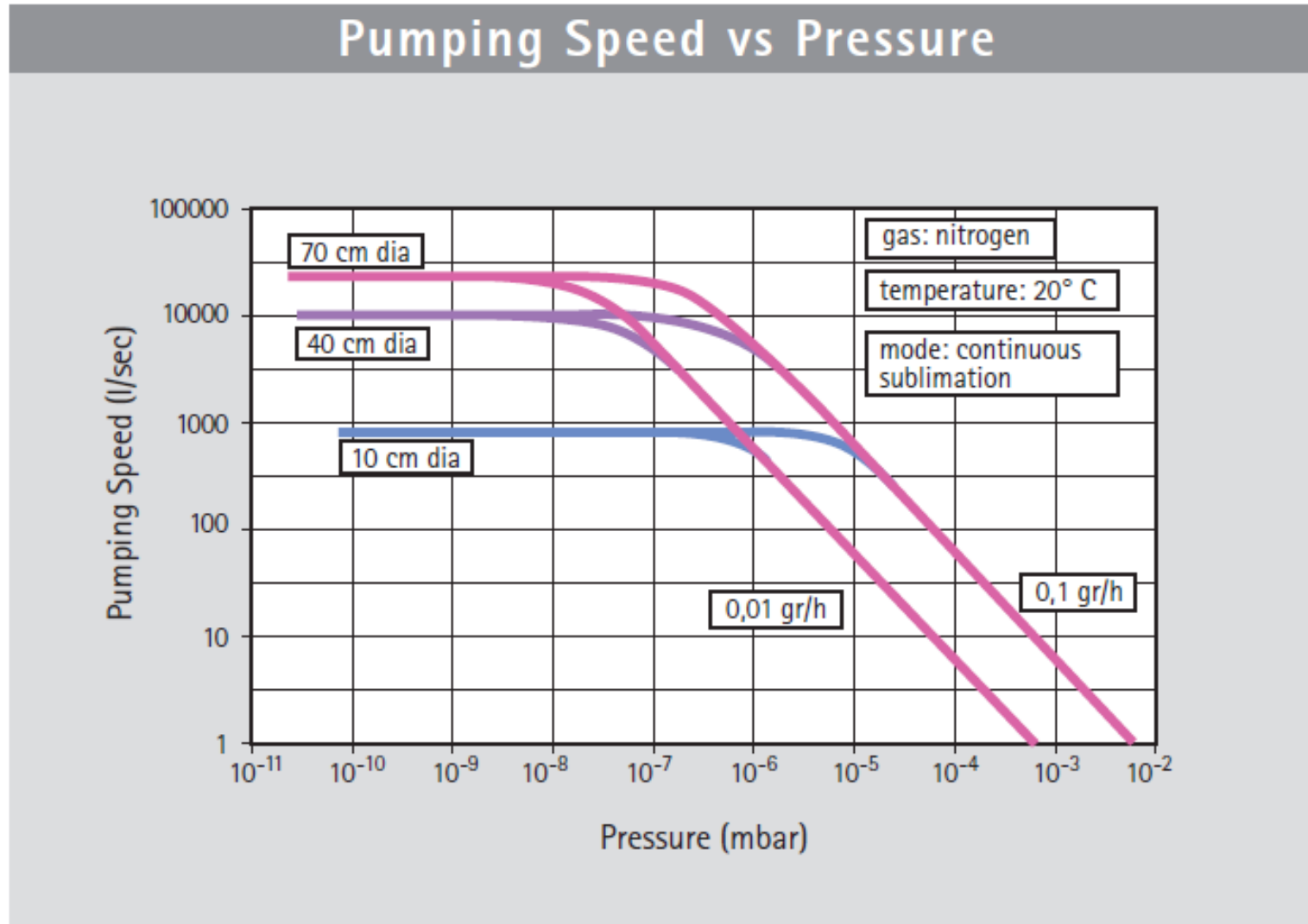
Pompa sublimacyjna

Szybkość pompowania [l/s]
1 cm² powierzchni tytanu,
w różnych temperaturach

Gaz	20° C	-195°C
H ₂	3,1	10,1
N ₂	4,7	10,1
O ₂	9,3	10,9
CO	9,3	10,9
CO ₂	7,8	9,3
H ₂ O	3,1	13,3
CH ₄	0	0
Ar	0	0
He	0	0

Varian catalog

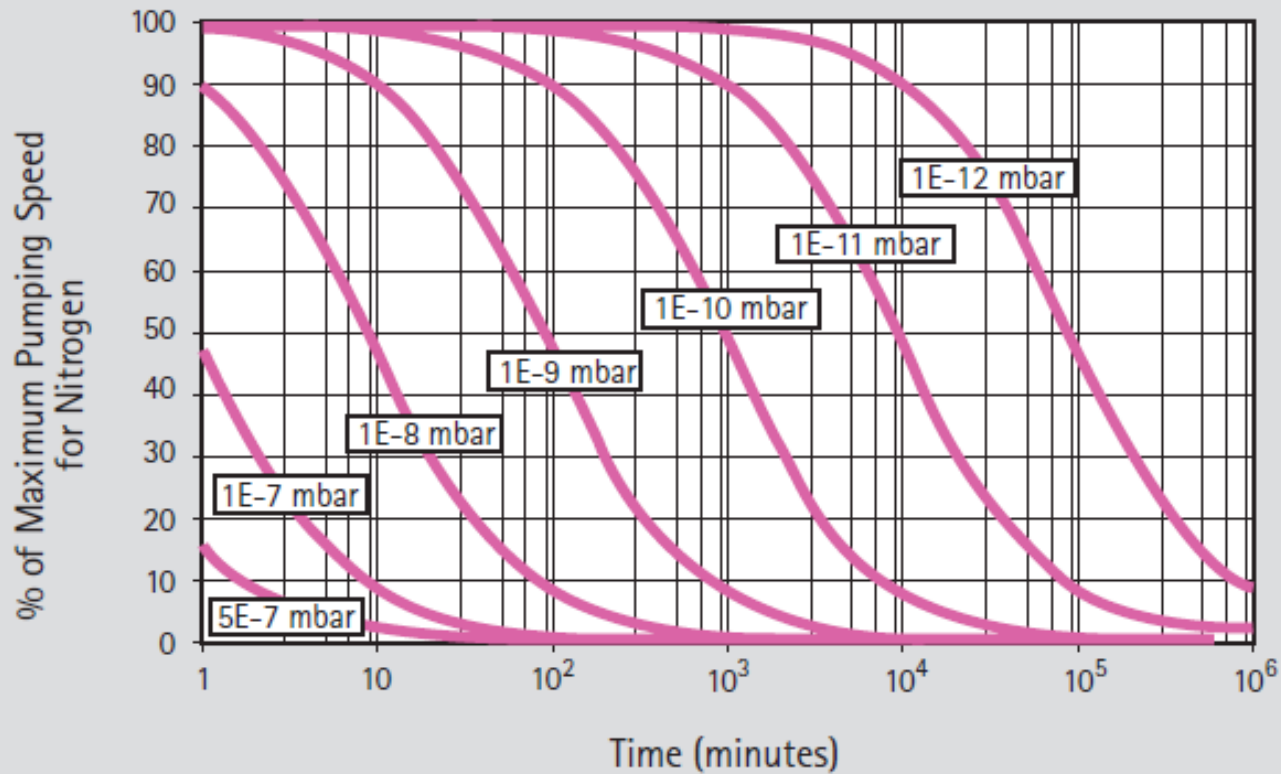
Pompa sublimacyjna



Varian catalog

Pompa sublimacyjna

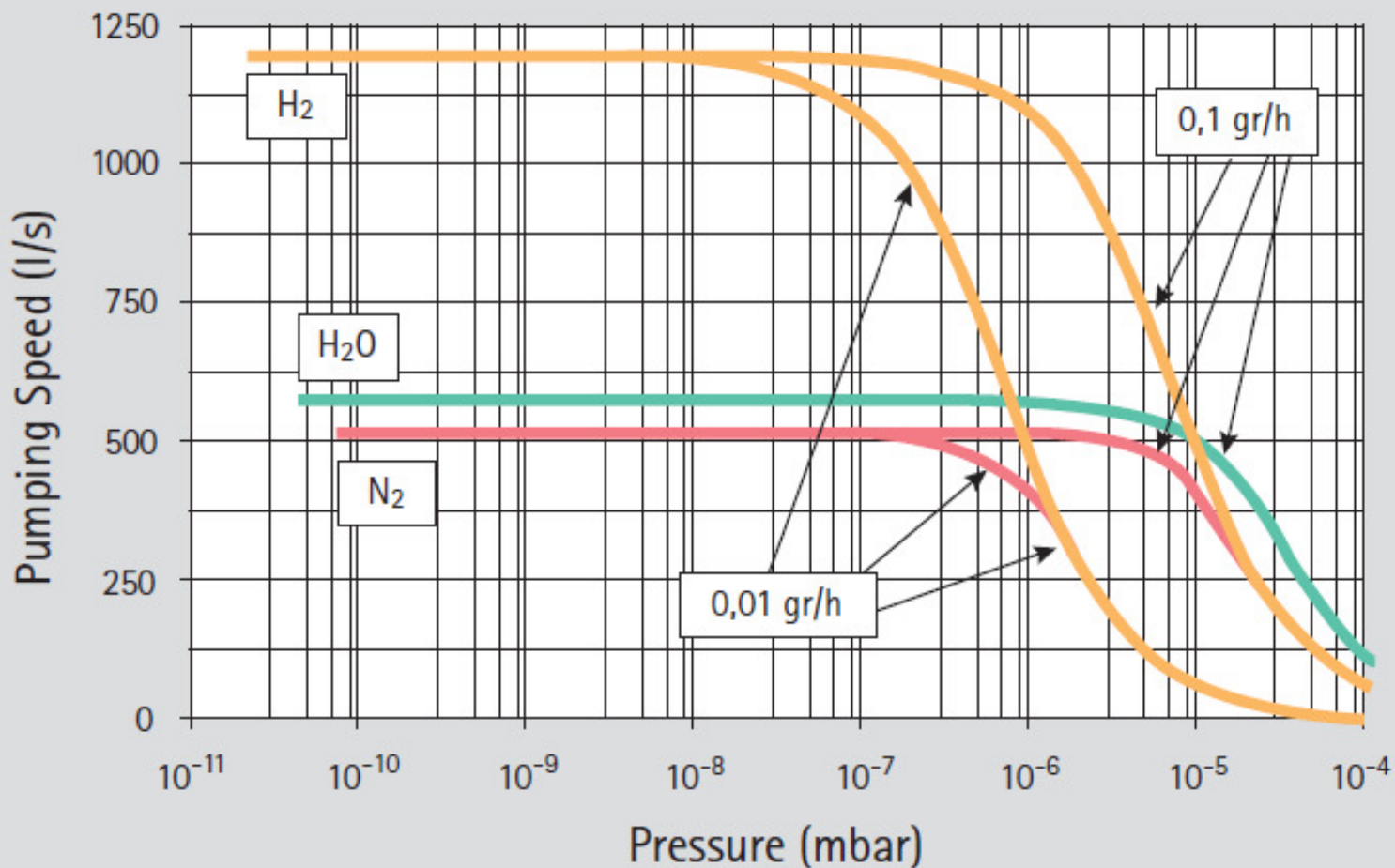
Pumping Speed vs Time at Different Pressures



Varian catalog

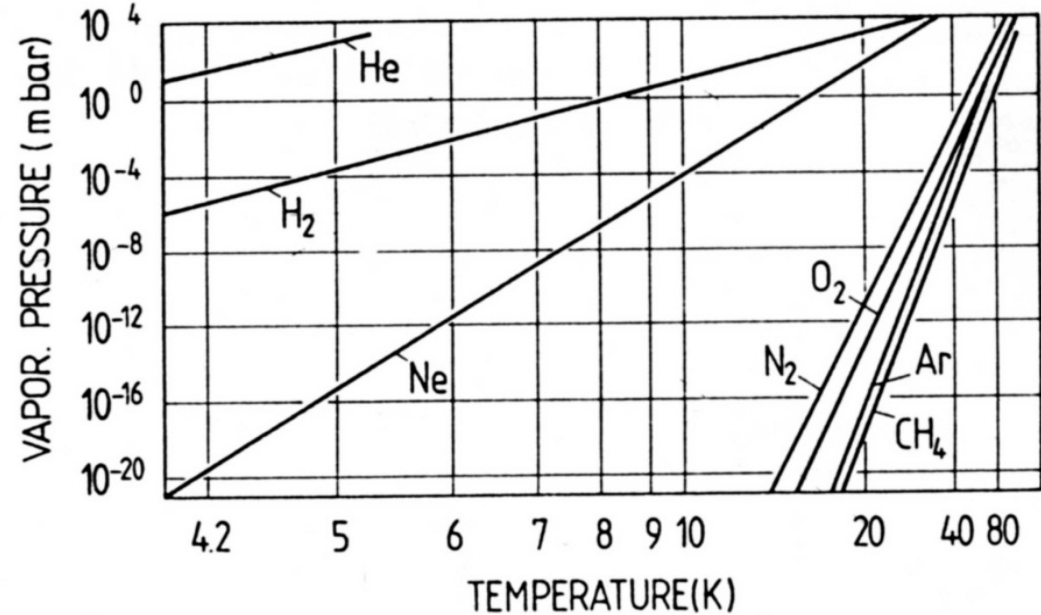
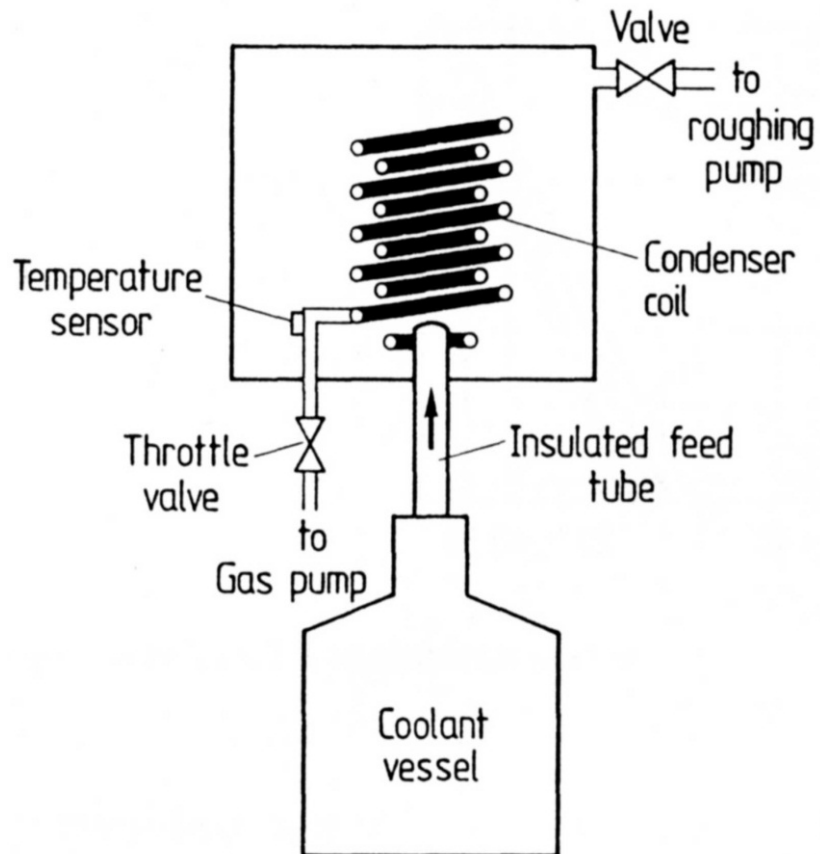
Pompa sublimacyjna

Pumping Speed vs Pressure at different evaporation rates

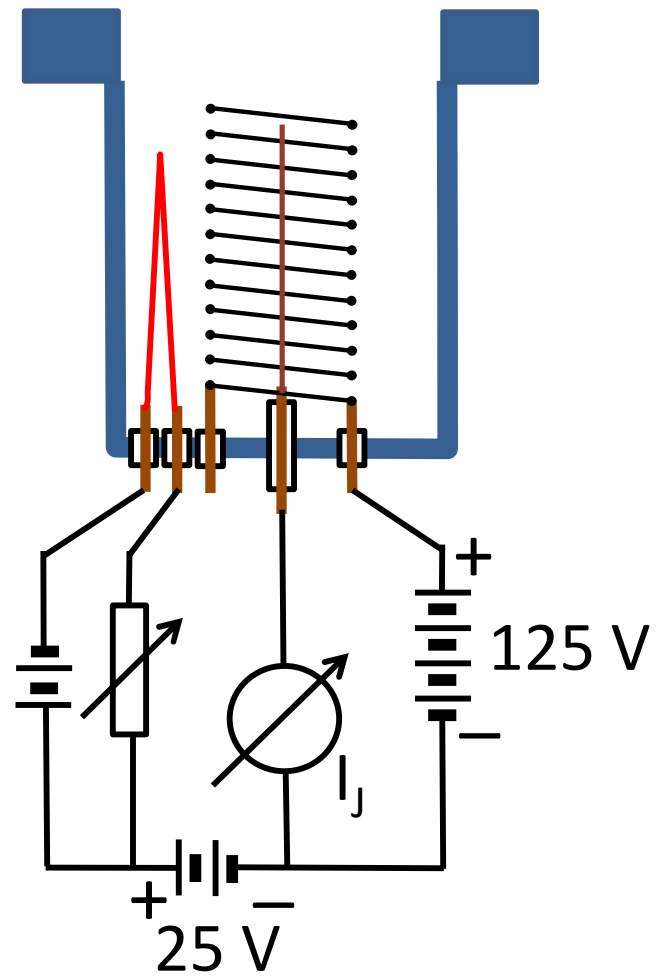


Varian catalog

Pompa kriogeniczna



Głowica jonizacyjna



Literatura uzupełniająca

1. Hans Lüth, *Surfaces and Interfaces of Solids*, second edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1993.
2. M. Henzler, W. Göpfel, *Oberflächenphysik des Festkörpers*, B. G. Teubner Stuttgart, 1993.
3. John A. Venables, *Introduction to Surface and Thin Film Processes*, Cambridge University Press, 2000.
4. L.J. Brilson, *Surfaces and Interfaces of Electronic Materials*, VILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2010.
5. Katalog firmy Varian.
6. Katalog Agilent Technologies.