

**Übung 2:**

Ue02\_HTNS\_PT\_WS14

1	<p>Zeigen Sie, dass sich die Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung</p> $f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/(2kT)}$ <p>der Geschwindigkeit bei der Maxwell-Boltzmann Verteilung auch schreiben lässt als:</p> $f(v') = \frac{4}{\sqrt{\pi}} v'^2 e^{-v'^2} \text{ mit } v' = \frac{v}{v_w}$
2	<p>Mit welcher Wahrscheinlichkeit findet man in einem Stickstoff-Gas Moleküle im Geschwindigkeitsbereich zwischen <math>v=400\text{m/s}</math> und <math>v=410\text{ m/s}</math>? Machen Sie eine plausible Abschätzung durch eine geeignete Näherung. Mit welcher Wahrscheinlichkeit liegen im selben Intervall Wasserstoff-Moleküle?</p>
3	<p>In der Abbildung ist in einem typischen Restgasspektrum einer Turbomolekularpumpe den einzelnen Molekülen der jeweilige Partialdruck zugeordnet.</p> <p>a) Bestimmen Sie die mittleren und die quadratisch gemittelten Geschwindigkeiten der Moleküle, <math>\text{H}_2</math>, <math>\text{H}_2\text{O}</math>, <math>\text{N}_2</math> und <math>\text{CO}_2</math>.</p> <p>b) Die am stärksten vorkommende Masse ist die von Wasserstoff. Was vermuten Sie, welche Gründe dafür verantwortlich sind.</p> <div style="text-align: center;"> </div>
4	<p>Auf welche Temperatur müssen Sie ein Gas erwärmen, damit sich <math>v_{\text{rms}}</math> gegenüber der Raumtemperatur verdoppelt?</p>
5	<p>Wie ändert sich die mittlere kinetische Energie der Moleküle eines Gases, wenn a) der Druck bei gleich bleibendem Volumen oder b) das Volumen bei konstantem Druck verdoppelt wird?</p>
6	<p>Warum ist nicht zu erwarten, dass alle Moleküle eines Gases dieselbe Geschwindigkeit haben? Warum haben unterschiedlich schwere Moleküle nicht dieselbe Geschwindigkeit bei einer festen Temperatur.</p>
7	<p>Welches Volumen, welche Dichte und welche Teilchendichte hat 1 g Wasserdampf (<math>\text{H}_2\text{O}</math>) in bei den Drücken <math>P_1=1\text{ mbar}</math> und <math>P_2=1\text{E-}10\text{ mbar}</math> bei einer Temperatur von <math>15\text{ }^\circ\text{C}</math>?</p>
8	<p>Welche Moleküldichte findet man in einem Vakuumbehälter bei einem Druck von 1 bar, 1 mbar, <math>10^{-6}\text{ mbar}</math> und <math>10^{-11}\text{ mbar}</math>?</p>
9	<p>Entwickeln Sie aus der Kenntnis der Teilchenflussdichte eine Formel für den Massenfluss der Teilchen im Vakuum auf eine Wand.</p>
10	<p>Zeigen Sie, dass der Druck-Volumenstrom, also der Gasstrom, einem Energiefluss, also Leistung, entspricht. Welche Leistung wird bei einem Gasstrom von <math>10^{-6}\text{ mbar l/s}</math> transportiert?</p>

## Übung 2:


Ue02-HTNS\_PT\_WS14

11	<p>Betrachten Sie eine Wandfläche von <math>A=1\text{mm}^2</math> und berechnen Sie für die Moleküle <math>\text{H}_2</math>, <math>\text{N}_2</math>, <math>\text{H}_2\text{O}</math> und <math>\text{CO}_2</math> bei <math>P=200\text{ Pa}</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>die Teilchenflüsse <math>j_N</math></li> <li>die Volumenflüsse <math>j_V</math> und</li> <li>die Massenflüsse <math>j_m</math>.</li> </ol>
12	<p>Eine Vakuumkammer mit einem Kammervolumen von 2 Liter ist mit <math>1\text{E-3 mbar}</math> Stickstoff (<math>\text{N}_2</math>) und mit <math>1\text{E-3 mbar}</math> (<math>\text{H}_2</math>) gefüllt. Mit einem Dosierventil kann ein Leitwert für Stickstoff von <math>1\text{ml/s}</math> eingestellt werden.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Wie hoch ist dann der Leitwert für Wasserstoff?</li> <li>Am anderen Ende des Dosierventils ist eine hinreichend gute Pumpe angeschlossen, die alles absaugt, was das Dosierventil verlässt. Wie hoch sind die Drücke für Stickstoff und Wasserstoff, wenn 30 Minuten lang über das Dosierventil abgepumpt wurde? Wie hoch ist der Gesamtdruck?</li> </ol>
13	<p>In einem UHV Katalog findet sich folgende Anzeige eines UHV Steckers. Die Angabe sagt, dass seine Leckrate kleiner als <math>1\text{E-9 mbar l/s}</math> ist.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Wie hoch ist der molekulare Leitwert dieses Steckers für Stickstoff und wie hoch für He. (Die Angabe der Leckrate bezieht sich auf Stickstoff)</li> <li>Welcher Teilchenfluss an <math>\text{N}_2</math>-Atomen könnte sich durch den Stecker maximal einstellen?</li> <li>Gehen Sie in einer Worst-Case-Annahme davon aus, dass sich alle Moleküle, die durch den Stecker gehen direkt in einen Halbleiter bei der Epitaxie elektrisch einbauen, d. h. jedes Atom, das die Halbleiteroberfläche trifft, führt zu einem freien Elektron im Halbleiter. Nehmen Sie an, alle Teilchen treffen innerhalb einer Fläche eines 2" Wafers (2" entspricht ca. 50 mm Durchmesser)</li> </ol> <p>Der Halbleiter wird mit einer Atomlage pro Sekunde epitaxiert. Die Halbleiteroberfläche hat eine Atomdichte von <math>6,8\text{E}14\text{ cm}^{-2}</math>. Wie hoch wäre der Halbleiter durch dieses Leck nachher dotiert?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Welche Leitfähigkeit hätte der Halbleiter bei einer angenommenen Beweglichkeit <math>\mu=4000\text{cm}^2/\text{Vs}</math>?</li> <li>Welchen elektrischen Widerstand hat eine <math>1\times 1\text{cm}</math> Epitaxiefläche bei einer Epitaxieschichtdicke von <math>1\mu\text{m}</math>?</li> </ol>

**10<sup>-9</sup> mbar** VACOM

### UHV Compact Feedthroughs

- Bakeable to 350 °C
- Stainless steel housing, ceramic insulator and gold plated Kovar® pins\*)
- 5 pin and 10 pin version
- Leak rate <  $10^{-9}$  mbar l/s
- Vacuum and air side Standard-MINI-SNAP-connector, strain-relieved:
  - Atmosphere side connector: brass (nickel plated), operating temperature from -40 °C to 120 °C
  - Vacuum side connector: stainless steel, bakeable up to 240 °C



Both types of feedthroughs are also available welded into flanges.

	5 pin version	10 pin version
Current load	10 A (max. 7.5 A when load on all pins)	5 A (max. 2.75 A when load on all pins)
Electrical strength	1000 V	700 V
Length	26.2 mm	26.2 mm
Diameter	12.0 mm	12.0 mm

Unbekannte Zi

## Übung 2:

Ue02\_HTNS\_PT\_WS14

14	<p>Betrachten Sie den einfachen Fall, dass ein Rezipient über einen 3m langen Wellschlauch mit einem Durchmesser von 2 cm an einen Turbomolekularpumpstand angeschlossen ist. Der Pumpstand hat ein Saugvermögen von 1000l/s.</p> <p>In der Kammer herrscht ein Gleichgewichtsdruck von 1E-6 mbar.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>Welchen Leitwert hat die Leitung für Stickstoff bei T=300K in l/s?</li><li>Vergleichen Sie den Leitwert mit dem Leitwert (Volumenfluss) einer gleichgroßen Öffnung.</li><li>Mit welchem Saugvermögen (effektives Saugvermögen) pumpt die Pumpe am Ende der Leitung am Rezipienten?</li><li>Wie hoch ist der Gasstrom (Druck-Volumen-Strom) durch diese Gasleitung?</li><li>Die Moleküle driften entlang der Leitung mit einer sehr geringen Driftgeschwindigkeit. Aus der Abschätzung für den Leitwert einer Leitung folgt der Zusammenhang: <math display="block">v_D = \frac{I}{AP}</math> (I entspricht dem Gasstrom, A der Fläche der Leitung, P dem Druck in der Leitung. Schätzen Sie mit dieser Formel die Driftgeschwindigkeit ab und vergleichen Sie den Wert mit dem der Moleküle.</li><li>Was für ein Druckverhalten erwarten Sie aus der Erkenntnis aus d) entlang der Leitung?</li></ol>																				
16	<p>Im Internet stoßen Sie auf folgende Tabelle: Verifizieren Sie die Umrechnungsdaten für den molekularen Fluss:</p> <p><b>helium leakage rate to leakage rates of other gases</b></p> <table><tr><th rowspan="2">To Convert to Leakage Rate of:</th><th colspan="2">Multiply Helium Leakage Rate by:</th></tr><tr><th>Laminar Flow</th><th>Molecular Flow</th></tr><tr><td>Argon</td><td>0.88</td><td>0.316</td></tr><tr><td>Air</td><td>1.08</td><td>0.374</td></tr><tr><td>Nitrogen</td><td>1.12</td><td>0.374</td></tr><tr><td>Water vapor</td><td>2.09</td><td>0.469</td></tr><tr><td>Hydrogen</td><td>2.23</td><td>1.410</td></tr></table>	To Convert to Leakage Rate of:	Multiply Helium Leakage Rate by:		Laminar Flow	Molecular Flow	Argon	0.88	0.316	Air	1.08	0.374	Nitrogen	1.12	0.374	Water vapor	2.09	0.469	Hydrogen	2.23	1.410
To Convert to Leakage Rate of:	Multiply Helium Leakage Rate by:																				
	Laminar Flow	Molecular Flow																			
Argon	0.88	0.316																			
Air	1.08	0.374																			
Nitrogen	1.12	0.374																			
Water vapor	2.09	0.469																			
Hydrogen	2.23	1.410																			
17	<p>Im Gefäß 1 der Abbildung befindet sich Stickstoff bei einem Druck <math>P_1=10^{-2}</math> Torr=<math>1,33 \cdot 10^{-2}</math> mbar und einer Temperatur <math>T_1=293,15</math> K</p> <p>Im rechten Gefäß strömt Quecksilberdampf bei einer Temperatur von <math>T_2=400\text{K}</math> und einem Druck <math>P_2=1</math> Torr=<math>1,33</math> mbar an einer Öffnung vorbei. Die Querschnittsfläche der Öffnung beträgt <math>\Delta A=2\text{ cm}^2</math>.</p> <p>Berechnen Sie die auftretenden Effusionsströme. Lässt sich mit dieser Anordnung eine Diffusionspumpe bauen? Wie kann man verhindern, dass zwar Stickstoff abgepumpt wird, nicht aber Quecksilber in den Rezipienten eindringt?</p> 