Heiko Dumlich April 23, 2008

1 Task Elektronenspektroskopie

1.1 (Druck)

Wir betrachten ein kugelförmiges Volumen $V = \frac{4\pi}{3}r^3 = \frac{\pi}{6}d^3$ bei T_1 ($p_{T_1} = 0$) mit dem Durchmesser d. Auf der Oberfläche $A_O = 4\pi r^2 = \pi d^2$ sei eine Monolage von Stickstoff (N_2) Molekülen adsorbiert. Eine Erhöhung der Temperatur auf $T_2 = 300\,\mathrm{K}$ führt zur vollständigen Desorption der Teilchen. Wir wollen den bei T_2 herrschenden Druck für zwei verschiedene Durchmesser abschätzen. Zuerst schätzen wir die Anzahl der absorbierten Moleküle ab, wobei die Flächendichte aus der Literatur mit $\rho_A = 10^{15}\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{cm}^2} = 10^{19}\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{m}^2}$ gegeben ist. Hieraus lässt sich die Zahl der Moleküle bestimmen, wobei wir davon ausgehen, dass die ganze Fläche besetzt ist und es keine freien Stellen gibt (der Fehler müsste kleiner als eine Größenordnung sein (vgl. Packungsarten wie hexagonal dichteste Packung etc.)). Hieraus folgt dann für die Molekülanzahl:

$$N_{N_2} = \rho_A A_O = \rho_A d^2 \pi$$

Mit dieser Angabe können wir nun die allgemeine Gasgleichung benutzen (Näherung ideales Gas, alternativ andere Gasgleichungen z.B. Van der Waals Gasgleichung, etc.):

$$pV = Nk_BT$$

die sich umschreiben lässt zu:

$$p\,(d,T) = \frac{N\,(d)}{V\,(d)}k_BT = \frac{6\rho_A k_B T}{d}$$

wir wissen bereits, dass für einen bestimmten Durchmesser N und V konstant (und ungleich 0) sind (N, V unabhängig von T, wegen äußeren Randbedingungen [abgeschlossenes System + Volumen durch Kugel begrenzt]), d.h. unsere Temperatur T_1 muss somit $0\,\mathrm{K}$ sein, da $p_{T_1} = 0$ vorrausgesetzt wurde. Setzen wir nun den Wert von $T_2 = 300\,\mathrm{K}$ ein, erhalten wir:

$$p\,(d,T_2) = \frac{N\,(d)}{V\,(d)}k_BT_2 = \frac{6\rho_A k_B}{d}\cdot T_2 \approx \frac{0.25}{d\,[\mathrm{m}]}\left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

mit $1\,\mathrm{Pa} = 1\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{ms}^2}$ folgt also:

$$p\,(d,T_2) = \frac{0.25}{d}\ [\mathrm{Pa}]$$

Hieraus ergibt sich durch einetzen der gegebenen Durchmesser
a) $d = 100\,\mathrm{mm} = 10^{-1}\,\mathrm{m}$

$$p\,(100\,\mathrm{mm}, T_2) \approx 2.5\ [\mathrm{Pa}]$$

b) $d = 1000\,\mathbf{mm} = 1\,\mathbf{m}$

$$p\,(1000\,\mathrm{mm}, T_2) \approx 0.25\ [\mathrm{Pa}]$$

1.2 (Leitwert C)

Eine Vakuumpumpe mit einer Pumpleistung von 20 l/s sei an einem Rohr mit $d = 16\,\mathrm{mm}$ Durchmesser und der Länge L angeschlossen. Wir bestimmen die maximale Länge L, bei der die volle Pumpleistung noch ausgeschöpft werden kann, hierzu verwenden wir die parametrisierte Formel für den Leitwert eines Rohres:

$$C^{Rohr} = C^{Lochblende} \frac{10 + 8\frac{L}{d}}{10 + 19\frac{L}{d} + 6\left(\frac{L}{d}\right)^2} \tag{1}$$

wobei $C^{Lochblende}$ in der Näherung als ideal angenommen wird, d.h. wir erhalten $C^{Lochblende} = 11.6 \cdot \frac{\pi d^2}{4}\left(\mathrm{cm}^2\right)\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{s}}$ wobei einsetzen von d auf

$C^{Lochblende} = 23.3\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{s}}$ führt. Aus Gleichung (1) folgt also:

$$\frac{20}{23.3}\left[10 + 19\frac{L}{d} + 6\left(\frac{L}{d}\right)^2\right] = 10 + 8\frac{L}{d}$$

umstellen liefert:

$$\alpha^2 - 1.38\alpha - 0.24 = 0$$

mit $\alpha = \frac{L}{d}$. Dies führt nur auf ein positives (d.h. physikalisch relevantes) Ergebnis, welches mit

$$\alpha = 1.54$$

gegeben ist. Jetzt können wir noch d einsetzen und erhalten:

$$L = \alpha \cdot d = 24.6\,\mathrm{mm} = 2.46\,\mathrm{cm}$$

1.3 (Ausheizzeit)

Die Desorption von Wasser ist der bestimmende Faktor für die Ausheizzeit eines UHV Rezipienten. Es soll einmal bei $T_1 = 110°C$ und einmal bei $T_2 = 150°C$ ausgeheizt werden. Die Ergebnisse sind zu vergleichen und der Zeitunterschied ist zu bestimmen, wobei eine Desorptionsenergie von Wasser mit 81 kJ/mol angenommen werden soll.

Die Wahrscheinlichkeit für die Desorption eines Teilchens ist gegeben über

$$dn = \nu_0 \cdot e^{-\frac{E_D}{k_B T}}\,dt$$

wobei $\nu_0 = const.$ ("Materialkonstante") "die Anzahl angibt, wie oft ein Molekül versucht aus dem Potential zu fliehen", k_B ist die Boltzmannkonstante und $E_D = 8.1 \cdot 10^4\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}}$. Wir können hieraus das Desorptionswahrscheinlichkeitsverhältnis bestimmen, welches dem Zeitdauerverhältnis der Desorption entspricht. Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned} n\left(T_1 = 110°C\right) &= 1.1 \cdot 10^{11} \cdot \nu_0 \\ n\left(T_2 = 150°C\right) &= 0.01 \cdot 10^{11} \cdot \nu_0 \end{aligned}$$

Das Verhältnis ergibt sich also zu:

$$\frac{n\left(T_1 = 110°C\right)}{n\left(T_2 = 150°C\right)} = \frac{e^{-\frac{E_D}{k_B T_1}}}{e^{-\frac{E_D}{k_B T_2}}} = 11$$

D.h. die Ausheizzeit ist mit der Temperatur $110°C$ ca. 11 mal so lang wie mit der Temperatur $150°C$.