Name: Arsch

1.) (6 Punkte)
Ein 10 kg schweres Eisenstück fällt aus 100 m Höhe auf die Erde. Wie groß ist die kinetische Energie des Eisenstücks vor dem Aufprall? Wie hoch ist dabei seine Geschwindigkeit? Die Temperatur des Eisenstücks vor dem Aufprall beträgt 20°C. Wie hoch ist die Endtemperatur, wenn man davon ausgeht, dass die kinetische Energie vollkommen in Wärme umgewandelt wird? ($C_p = 25{,}1$ J/mol·K, $g = 9{,}81$ m/s^2, $M_{Fe}= 55{,}9$ g/mol, keine Luftreibung)

2.) (10 Punkte)
Ein geschlossenes Gefäß mit einem Volumen von 5 Litern wird durch eine Trennwand in zwei gleiche Volumina geteilt. Im ersten befindet sich gasförmiger Stickstoff und im anderen gasförmiger Wasserstoff, jeweils bei 25°C und 1 bar.
a) Berechnen Sie die Änderung der Freien Enthalpie und der Entropie nach dem Entfernen der Trennwand. Setzen Sie für die Gase ideales Verhalten voraus. Die Temperatur bleibe bei dem Mischungsvorgang unverändert.

b) Wie lauten die Ergebnisse, wenn der Stickstoff vor Entfernen der Wand unter dem Druck von 3 bar steht und der Wasserstoff unter 1 bar. Die Temperatur bleibe bei dem Mischungsvorgang unverändert.

3.) (12 Punkte)
Betrachtet wird ein Mol eines idealen, einatomigen Gases in einem reversiblen Kreisprozess mit den folgenden drei Zustandsänderungen:

1. Isotherme Kompression 2. Isobare Expansion 3. Isochore Abkühlung

a) Skizzieren Sie die drei Zustandsänderungen in einem p-V-Diagramm.

b) Berechnen Sie q, w, ΔU und ΔH für die drei Zustandsänderungen jeweils als Funktionen von V, p und c_p (nicht als Funktionen von T).

4.) (10 Punkte)
Wie ändern sich S, H, G und U, wenn man den Druck von 1 mol Quecksilber bei 25°C isotherm von 1 bar auf 100 bar erhöht? Gehen Sie davon aus, dass sich das Volumen des Quecksilbers dabei nicht ändert. Der thermische Ausdehnungskoeffizient $\alpha_p = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ von Quecksilber beträgt 1.82 10^{-4}K^{-1}, die Dichte bei 25°C ist 13.534 g/cm^3, die Molmasse M_{Hg}=200,59g/mol. (Hinweis: Berechnen Sie zunächst die Änderung der Entropie mit dem Druck aus dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten)

5.) (12 Punkte)
Man könnte zur Beschreibung realer Gase auch eine Zustandsgleichung der Form

$$p = \frac{RT}{V_m} - \frac{B}{(V_m)^2} + \frac{C}{(V_m)^3}$$

vorschlagen. Zeigen Sie, dass diese Zustandsgleichung einen kritischen Punkt besitzt und geben Sie Formeln für $V_{m,k}$, T_k und p_k als Funktionen der Koeffizienten B und C an.

57

6.) (10 Punkte)

a) Die Genauigkeit der Altersbestimmung durch Zerfall des radioaktiven Kohlenstoff-Isotops ^{14}C (Methode der Radiokohlenstoffdatierung) ist u.a. davon abhängig, wie genau die Anfangsmenge des ^{14}C (entspricht dem Zeitpunkt $t = 0$) bestimmt ist. Letztere wurde bei der Analyse eines alten Holzstückes mit dem Fehler ±2% eingeschätzt. Mit welcher Zeitspanne kann das Alter dieses Stücks bestimmt werden? Die Halbwertszeit des ^{14}C-Isotops beträgt 5730 Jahre.

b) Um biologische Stoffwechselvorgänge zu untersuchen, wird eine frisch hergestellte Substanz mit radioaktiven Tracer-Atomen injiziert. Die Halbwertszeit des radioaktiven Zerfalls beträgt 10 Tage. Das Entfernen der Tracer-Atome aus dem Organismus durch den Stoffwechsel erfolgt exponentiell mit der Halbwertszeit von 2 Tagen. Wie groß ist der Anteil an Tracer-Atomen, die im Organismus zerfallen ?

7.) (10 Punkte)

Fentonsches Reagenz ist eine Lösung von Wasserstoffperoxid und Eisen-Katalysator. Es ist ein starkes Oxidationsmittel, da es OH• und OOH• Radikale produziert:

$$(1)\ Fe^{2+} + H_2O_2 \xrightarrow{k_1} Fe^{3+} + OH\bullet + OH^-$$

$$(2)\ Fe^{3+} + H_2O_2 \xrightarrow{k_2} Fe^{2+} + OOH\bullet + H^+$$

Es wurde als Katalysator $FeSO_4$ (löst sich vollständig zu Fe^{2+} und SO_4^{2-} auf) zur Wasserstoffperoxid-Lösung beigemischt. Geben Sie $\frac{d[OH\bullet]}{dt}$ als Funktion von $[H_2O_2]$ und $[FeSO_4]_0$ an. (**Annahme:** Fe^{2+} und Fe^{3+} sind im Gleichgewicht. **Hinweis:** Betrachten Sie $\frac{d[Fe^{2+}]}{dt}$)

8.) (9 Punkte)

Für die folgende Reaktion in der Gasphase

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

wurden bei $T_1 = 1000$ K und $T_2 = 1300$ K die Geschwindigkeitskonstanten
$k_1 = 2{,}25\ 10^9$ L mol^{-1}s^{-1} und $k_2 = 3{,}01\ 10^9$ L mol^{-1}s^{-1} bestimmt.

a) Berechnen Sie die Aktivierungsenergie E_A nach Arrhenius.

b) Berechnen Sie für T=1000 K unter Annahme des „line-of-center“-Modells den „Harte-Kugel“-Reaktionsquerschnitt dieser Reaktion.
Hinweis: $M_O = 16{,}0$ g mol^{-1}, $M_N = 14{,}01$ g mol^{-1}

9.) (12 Punkte)
Für die aktivierungsfreie Anlagerungsreaktionen von Molekülen B an Ionen A^+ in der Gasphase wurde folgender Mechanismus vorgeschlagen:

$$A^+ + B \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftarrows}} AB^{+*} \qquad (1)$$

$$AB^{+*} + M \xrightarrow{k_2} AB^+ + M \qquad (2)$$

M ist ein nicht reaktives Stoßgas.

a) Formulieren Sie die Reaktionsgeschwindigkeit $r = \frac{d[AB^+]}{dt}$ unter Verwendung der Quasistationaritätsbedingung für $[AB^{+*}]$.

b) Geben Sie die Gesamtordnung der Reaktion für den Grenzfall hoher Partialdrücke des Stoßgases M an.

c) Geben Sie die Reaktionsgeschwindigkeit r für niedrige Drücke von M unter der Annahme an, dass Reaktion (2) geschwindigkeitsbestimmend ist.

10.) (9 Punkte)

a) Berechnen Sie ausgehend von der eindimensionalen Maxwell-Bolzmann-Geschwindigkeitsverteilung $f(v_x)$ den Mittelwert positiver Geschwindigkeiten $v_x>0$.

b) Die Maxwell-Bolzmann Verteilung als Funktion der kinetischen Energie E lautet:

$$F(E)dE = \frac{2\pi}{(\pi k_B T)^{\frac{3}{2}}}\sqrt{E}\exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right)dE$$

Berechnen Sie die wahrscheinlichste kinetische Energie.

(Hinweis: $\int_0^\infty x e^{-ax^2}dx = \frac{1}{2a}$ **)**

<u>Naturkonstanten:</u>

$k_B = 1{,}380658 \times 10^{-23}$ J/K

$N_A = 6{,}0221367 \times 10^{23}$ 1/mol

$R = 8{,}31451$ J K^{-1} mol^{-1}

0 K = -273,15 °C

55

1

$E_{pot} = E_{kin} = m \cdot g \cdot h = 100\,kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 100\,m$

$= 98\,100 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$

$98{,}1\ kJ = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \langle v^2 \rangle$

$98100 \frac{kg \cdot m^2}{s^2} = \frac{1}{2} \cdot 100\,kg \cdot \langle v^2 \rangle$

$\frac{98100 \cdot 2}{100} \frac{kg \cdot m^2}{kg \cdot s^2} = \langle v^2 \rangle$

$1962 \frac{m^2}{s^2} = \langle v^2 \rangle$

$44 \frac{m}{s} = V$

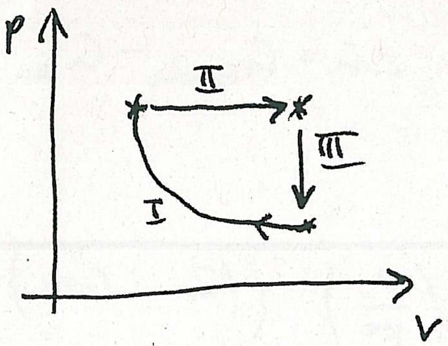
Fe: $T = 293\ K$

$\Delta T = \frac{\Delta q}{C_{p,m} \cdot n} = \frac{98100\ J}{25{,}1\ J/mol \cdot K \cdot 1786\ mol\ Fe} = 2{,}18\ K$

$\frac{100.000\,g\ Fe}{56\ g/mol} = 1786\ mol\ Fe$

$T_{Ende} = 20°C + 2{,}18\,°C = 22{,}18\,°C = \underline{\underline{295{,}3}}\ K$

3)



I isotherme Abkühlung

II isobare Expansion

III isochore Abkühlung

I)

$q = -w = p \cdot dV$

$\Delta U = 0$

$C_{V,m} = \frac{3}{2} R \quad ; \quad C_{p,m} = \frac{5}{2} R$

$\Delta H = n \cdot C_{p,m} \cdot \underbrace{\Delta T}_{=0} = 0$

$\Delta H = q_p$

II $w = -p \cdot dV$

$w = -p \cdot \int_{V_1}^{V_2} dV$

$\Delta U = \delta q - p \cdot dV$

$\Delta U = dq + dw$

$dH = dU + p \cdot dV$

$dH = dq$

III isochore Abkühlung

$\Delta w = -p\underbrace{dV}_{=0} = 0$

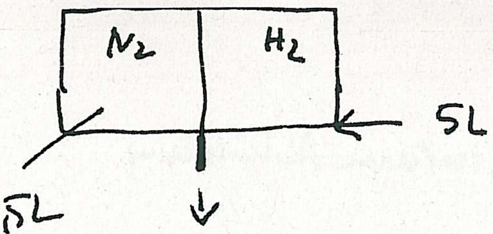
$\Delta U = \underbrace{\Delta w}_{=0} + \Delta q$

$\Delta U = \Delta q$

$dH = dU + \underbrace{p \cdot dV}_{=0}$

$dH = dU$

2



$\Delta G = G_{Ende} - G_{Anfang}$

a) $G = G(T,p) = G^\ominus + n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p}{p^\circ}\right)$ (für i. Gase)

$$G_{Anf.} = G_1^\ominus + n_1 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p^\circ}\right) + G_2^\ominus + n_2 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p^\circ}\right)$$

$$G_E = G_1^\ominus + G_2^\ominus + n_1 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_{1\,Ende}}{p^\circ}\right) + n_2 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_{2\,Ende}}{p^\circ}\right)$$

$$\Delta G = n_1 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_{1\,Ende}}{p_1}\right) + n_2 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_{2\,Ende}}{p_2}\right)$$

$$x_1 = \frac{n_i}{\sum n_i}$$

$$p_{i\,Ende} = x_i \cdot p_{End}$$

$$\Delta G = x_1 \cdot n_1 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(x_1 \cdot \frac{p_{Ende}}{p_1}\right) + x_2 \cdot n_2 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(x_2 \cdot \frac{p_{2\,Ende}}{p_2}\right)$$

$$\Delta G = \underbrace{n \cdot R \cdot T \cdot (x_1 \cdot \ln x_1 + x_2 \cdot \ln x_2)}_{\Delta G \text{ Mischung}} + \underbrace{n_1 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_{Ende}}{p_1}\right) + n_2 \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_{Ende}}{p_2}\right)}_{\text{Beitrag durch Kompr. + Expansion}}$$

$$\Delta S = -\left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T}\right) =$$

$$n \cdot R \cdot (x_1 \cdot \ln x_1 + x_2 \cdot \ln x_2) + n_1 \cdot R \cdot \ln\left(\frac{p_{Ende}}{p_1}\right) + n_2 \cdot R \cdot \ln\left(\frac{p_{Ende}}{p_2}\right)$$

a) $p_1 = p_2 = p_{Ende}$

$\Delta G = \Delta G_M$; $x_1 = x_2 = 0{,}5$

$\Delta G = p_{Ende} \cdot V \cdot (x_1 \cdot \ln x_1 + x_2 \cdot \ln x_2)$ $(p \cdot V = n \cdot R \cdot T)$!

$\underline{\underline{\Delta G}} = 10^5 \frac{N}{m^2} \cdot 5 \cdot 10^{-3}\, m^3 \cdot \ln 0{,}5 = \underline{\underline{-346\,J}}$

$\underline{\underline{\Delta S}} = -\frac{\Delta G}{T} = \frac{346\,J}{298\,K} = +1{,}2\,\frac{J}{K}$

b) $p_1 = 3\,bar$, $p_2 = 1\,bar$; $p_{Ende} = \frac{n \cdot R \cdot T}{V_1 + V_2} = \frac{4 n_2 \cdot R \cdot T}{2 V_2} = 2 p_2 = 2\,bar$

$x_1 = \frac{3}{4}$; $x_2 = \frac{1}{4}$ $\Rightarrow$ $\Delta G = -693\,J$; $\Delta S = 2{,}3\,J$

(5.)

$$p = \frac{R \cdot T}{V_m} - \frac{B}{V_m^2} - \frac{C}{V_m^3}$$

a) $$\left(\frac{\delta p}{\delta V_m}\right)_T = -\frac{R \cdot T}{V_m^2} + \frac{2B}{V_m^3} + \frac{3C}{V_m^4} = 0$$

$$\left(\frac{\delta^2 p}{\delta V_m^2}\right)_T = +\frac{2R \cdot T}{V_m^3} - \frac{6B}{V_m^4} - \frac{12C}{V_m^5} = 0$$

$$\frac{R \cdot T}{V_m^2} = \frac{2B}{V_m^3} + \frac{3C}{V_m^4} \quad \Big| \cdot V_m^2$$

$$\frac{2R \cdot T}{V_m^3} = \frac{6B}{V_m^4} - \frac{12C}{V_m^5} \quad \Big| \cdot V_m^3$$

$$R \cdot T = \frac{2B}{V_m} + \frac{3C}{V_m^2}$$

$$2R \cdot T = \frac{6B}{V_m} - \frac{12C}{V_m^2}$$

$$RT = \frac{3B}{V_m} - \frac{6C}{V_m^2}$$

$$\frac{3B}{V_m} - \frac{6C}{V_m^2} = \frac{2B}{V_m} + \frac{3C}{V_m^2} \quad \Big| -\frac{3C}{V_m^2}$$

$$\frac{3B}{V_m} - \frac{3C}{V_m^2} = \frac{2B}{V_m} \quad \Big| -\frac{3B}{V_m}$$

$$+\frac{3C}{V_m^2} = +\frac{1B}{V_m} \quad \Big| \cdot V_m$$

$$\frac{3C}{V_m} = 1B \longrightarrow V_m^{krit.} = \frac{3C}{B}$$

$$R \cdot T = \frac{2B}{\frac{3C}{B}} + \frac{3C}{\left(\frac{3C}{B}\right)^2} \Rightarrow R \cdot T = \frac{2B^2}{3C} + \frac{\cancel{3C} \cdot B^2}{3 \cdot \cancel{3} \cdot \cancel{C} \cdot C} = \frac{3B^2}{3C} = R \cdot T_{krit}$$

krit.

$$p_{krit} = \frac{B^3}{27C^2} \quad (p_{kritisch}!)$$

(4) $\alpha_p = \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{\delta V}{\delta T}\right)_p = 1{,}82 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K}$

$M_{Hg} = 200{,}59\ g/mol \quad ; \rho = 13{,}5\ g/mol$

$dG = Vdp - \underbrace{SdT}_{=0}$, weil isotherm

$dG = Vdp$

$$\Delta G = \int_A^E dG = \int_A^E Vdp = V \cdot \int_{p_A}^{p_E} dp = V \cdot (p_E - p_A)$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{n \cdot M}{\rho} = \frac{1 \cdot 200 g}{13{,}5\ g/cm^3} = 14{,}82\ cm^3 = 14{,}82 \cdot 10^{-6}\ m^3$$

$$\underline{\underline{\Delta G}} = V \cdot (p_E - p_A) = 14{,}82 \cdot 10^{-6}\ m^3 \cdot 99 \cdot 10^5\ Pa$$
$$= 146{,}7\ J = \underline{\underline{146{,}7\ Pa\,m^3}}$$

$$S: \left(\frac{dS}{\delta p}\right)_T = -\left(\frac{\delta V}{\delta T}\right)_p \text{ (Maxwell)} = -V \cdot \alpha_p$$

$$\Delta S = \int_{S_A}^{S_E} dS = \int_{p_A}^{p_E} (-V\alpha_p)\, dp = -V \cdot \alpha_p \cdot (p_E - p_A) = \alpha_p\, \Delta G$$

$$\Delta S = -1{,}82 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K} \cdot 146{,}7\ J = -2{,}67 \cdot 10^{-2}\ J/K$$

$$H: \left(\frac{\delta H}{\delta p}\right)_T = V - T \cdot \left(\frac{\delta V}{\delta T}\right)_p$$
$$= V - T \cdot V \cdot \alpha_p = V \cdot (1 - T \cdot \alpha_p)$$

$$\Delta H = V \cdot (1 - T \cdot \alpha_p) \cdot \Delta p = (1 - T \cdot \alpha_p) \cdot \Delta G$$

$$\Delta H = \Delta G - T \cdot \Delta S = 138\ J$$

$$\Delta U = \Delta H - \Delta(p \cdot V) = -7{,}9\ J$$

7) $Fe^{2+} + H_2O_2 \xrightarrow{k_1} Fe^{3+} + OH^{\bullet} + OH^{\ominus}$

$Fe^{3+} + H_2O_2 \xrightarrow{k_2} Fe^{2+} + OOH^{\bullet} + H^{\oplus}$

$\frac{d[OH^{\bullet}]}{dt} = \ldots$ als Fkt von $[H_2O_2]$ und $[FeSO_4]_0$?

(I) $\frac{d[Fe^{2+}]}{dt} = -k_1 \cdot [Fe^{2+}][H_2O_2] + k_2 \cdot [Fe^{3+}][H_2O_2] \approx 0$ (QS)

$\hat{=}$ Katalysator

$$0 = (-k_1 \cdot [Fe^{2+}] + k_2 \cdot [Fe^{3+}]) \cdot \underbrace{[H_2O_2]}_{\neq 0}$$

$$k_1 \cdot [Fe^{2+}] = k_2 \cdot [Fe^{3+}]$$

$$\frac{k_1}{k_2}[Fe^{2+}] = [Fe^{3+}]$$

$[FeSO_4]_0 = [Fe^{2+}]_0$;

$$[FeSO_4]_0 = [Fe^{2+}]_t + [Fe^{3+}]_t$$

$$[FeSO_4]_0 = [Fe^{2+}] + \frac{k_1}{k_2} \cdot [Fe^{2+}]$$

$$[FeSO_4]_0 = \left(1 + \frac{k_1}{k_2}\right) \cdot [Fe^{2+}]$$

$$\frac{[FeSO_4]_0}{1 + \frac{k_1}{k_2}} = [Fe^{2+}]$$

$$\frac{d[OH^{\bullet}]}{dt} = k_1 \cdot [Fe^{2+}] \cdot [H_2O_2] = \frac{k_1 \cdot [H_2O_2] \cdot [FeSO_4]_0}{1 + \frac{k_1}{k_2}}$$

6a) ^{14}C Zerfall : Fehler $\pm 2\%$

$t_{1/2} = 5730\,a$ $\qquad k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = 0{,}00012\,\frac{1}{a}$

$[A]_t = [A]_0 \cdot e^{-k \cdot t}$

$\frac{[A]_t}{[A]_0} = e^{-k \cdot t}$ $\qquad [A]_0 = 1$ (Definiert ...)

$\ln\left(\frac{[A]_t}{[A]_0}\right) = -k \cdot t$ $\qquad [A]_0 = 1.02$ bei $\pm 2\%$ Fehler

$\ln[A]_0 - \ln[A]_t = k \cdot t$

$$\left.\begin{aligned} \ln 1{,}02 - \ln[A] &= k \cdot t_1 \\ \ln 1 - \ln[A] &= k \cdot t_2 \end{aligned}\right] \ominus$$

$\ln 1{,}02 - 0 = k \cdot (t_1 - t_2)$

$\frac{\ln 1{,}02}{k} = \Delta t$

$\Delta t = 165\,a$

6b) $\frac{d[A]}{dt} = -k_1 \cdot [A] - k_2 \cdot [A]$ $\qquad A \xrightarrow{k_1} B$, $\quad A \xrightarrow{k_2} C$ $\quad$ PARALLEL

$\frac{d[A]}{dt} = -(k_1 + k_2) \cdot [A]$

$\frac{d[A]}{[A]} = -(k_1 + k_2)\,dt$

$\frac{[A]_t}{[A]_0} = e^{-(k_1 + k_2) \cdot t}$ $\qquad k_1(2d) =$

$\qquad k_2(10d) =$

$[A]_t = [A]_0 \cdot e^{-(k_1 + k_2)t}$

$k_1 = \frac{\ln 2}{2d} = 0{,}35\,d$ $\quad ; \quad k_2 = \frac{\ln 2}{10d} = 0{,}07\,d$

$K_{gesamt} := (0{,}42\,d) = t_{1/2}$

9)

(I) $A^+ + B \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} AB^{+*}$

M = Stoßgas

(II) $AB^{+*} + M \xrightarrow{k_2} AB^+ + M$

$$\frac{d[AB^+]}{dt} = ?$$

a) $\frac{d[AB^{+*}]}{dt} \approx 0$ $\qquad \frac{d[AB^+]}{dt} = k_2 \cdot [AB^{+*}][M]$

$$\frac{d[AB^{+*}]}{dt} = k_1 \cdot [A^+][B] - k_{-1} \cdot [AB^{+*}] - k_2 \cdot [AB^{+*}][M] \approx 0$$

$$+k_{-1}[AB^{+*}] + k_2[AB^{+*}][M] = +k_1 \cdot [A^+][B]$$

$$[AB^{+*}] \cdot (k_{-1} + k_2 \cdot [M]) = k_1 \cdot [A^+][B]$$

$$[AB^{+*}] = \frac{k_1[A^+][B]}{k_{-1} + k_2 \cdot [M]}$$

$$\frac{d[AB^+]}{dt} = \frac{k_2 \cdot [M] \cdot k_1 \cdot [A^+][B]}{k_{-1} + k_2 \cdot [M]}$$

b) $M \rightarrow \infty$: $\frac{d[AB^+]}{dt} = k_1[A^+][B]$ $\boxed{2.RO}$

$$k_2 \cdot [M] \gg k_{-1} \Rightarrow k_{-1} + k_2 \cdot [M] \approx k_2 \cdot [M]$$

Begründung: $\frac{\cancel{k_2} \cdot k_1 \cdot [A^+] \cdot [B] \cdot \cancel{[M]}}{k_{-1} + \cancel{k_2 \cdot [M]}}$ vernachlässigbar!

c) $k_{-1} \gg k_2 \cdot [M]$:

$$\frac{d[AB^+]}{dt} = \frac{k_2 \cdot k_1}{k_{-1}} [A^+] \cdot [B][M] \quad \boxed{3.RO}$$

// $k_2 \cdot [M]$ fällt weg!

8a| $E_a = -R\cdot T\cdot \ln\frac{k}{A}$

$$k = A\cdot e^{-\frac{E_a}{R\cdot T}}$$

$$\ln k_1 = \ln A \cdot \frac{E_a}{R\cdot T_1}$$

$$-\ln k_2 = \ln A \cdot \frac{E_a}{R\cdot T_2}$$

$$\ln\left(\frac{k_1}{k_2}\right) = -\frac{E_a}{R}\cdot\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right) \Rightarrow E_a = -\frac{R\cdot\ln\left(\frac{k_1}{k_2}\right)}{\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)}$$

$$E_a = \frac{-8{,}314\cdot\ln\left(\frac{2{,}25}{3{,}01}\right)}{\frac{1}{1000}-\frac{1}{1300}} = 10\,434\ \mathrm{J/mol}$$

8b| $k_{AB}^{LOC} = N_A\cdot\langle v_{rel}\rangle\cdot\underbrace{\pi\cdot r_{AB}^2}_{?}\cdot e^{-\frac{E_a}{R\cdot T}}$

verschied. Teilchen: $\langle v_{rel}\rangle = \left(\frac{8\cdot R\cdot T}{\pi\cdot\mu}\right)^{1/2} \Rightarrow \mu = \frac{M_{O_3}\cdot M_{NO_2}}{M_{O_3}+M_{NO_2}} = 30\ \mathrm{g/mol}$

$$= 30\cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg/mol}$$

$$\langle v_{rel}\rangle = \left(\frac{8\cdot 8{,}314\cdot 1000\,K}{\pi\cdot 30\cdot 10^{-3}}\right)^{1/2} = 840\ \frac{m}{s}$$

$$k_{AB}^{LOC} = N_A\cdot\langle v_{rel}\rangle\cdot\pi\cdot r_{AB}^2\cdot e^{-\frac{E_a}{R\cdot T}}$$

$$\frac{k_{AB}^{LOC}}{N_A\cdot\langle v_{rel}\rangle\cdot\ln\left(-\frac{E_a}{R\cdot T}\right)} = \pi\cdot r_{AB}^2$$

$$\frac{2{,}25\cdot 10^{9}}{6\cdot 10^{23}\cdot 840\cdot 0{,}22} = \pi\cdot r_{AB}^2 = 2\cdot 10^{-17}\ m^2$$

10 a) $v_x > 0$

$$F(v_x) = \left(\frac{m}{2\pi \cdot kT}\right)^{1/2} \cdot e^{-\frac{m v_x^2}{2k \cdot T}}$$

$$\langle v_x \rangle = \int_0^\infty 2 \cdot v_x \cdot \left(\frac{m}{2\pi \cdot k \cdot T}\right)^{1/2} \cdot e^{-\frac{m \cdot v_x^2}{2k \cdot T}} \, dv_x$$

$$\langle v_x \rangle = 2 \cdot \left(\frac{m}{2\pi \cdot kT}\right)^{1/2} \cdot \int_0^\infty v_x \cdot e^{-\frac{m \cdot v_x^2}{2k \cdot T}} \, dv_x$$

Regel

$$\int_0^x \cancel{x} \, e^{-ax^2} dv_x$$

$$\langle v_x \rangle = 2 \left(\frac{m}{2\pi \cdot k \cdot T}\right)^{1/2} \cdot \frac{1}{2\left(\frac{m}{2kT}\right)}$$

$$\langle v_x \rangle = 2 \cdot \sqrt{\frac{m}{2\pi \cdot kT}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot k \cdot T}{m}$$

$$\langle v_x \rangle = \sqrt{\frac{4 \cdot m \, k^2 T^2}{2\pi \cdot k \cdot T \cdot m^2}} = \underline{\underline{\sqrt{\frac{2k \cdot T}{\pi \cdot m}}}}$$

$= \frac{1}{2} a$

mit $a = \frac{-1}{2k \cdot T}$

10b) $$F(E) dE = \frac{2\pi}{(\pi \cdot k_B \cdot T)^{2/3}} \cdot \sqrt{E} \cdot e^{-\frac{E}{k_B \cdot T}} \, dE$$

$$\frac{\delta F(E)}{\delta E} \overset{!}{=} 0 = \frac{2\pi}{(\pi \cdot k_B \cdot T)^{2/3}} \cdot \frac{1}{2} E^{-\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{E}{k_B \cdot T}} +$$

$$\int_0^\infty x \, e^{-ax^2} dx$$

$= \frac{1}{2} a$

$$\frac{2\pi}{(\pi \cdot k_B \cdot T)^{2/3}} \cdot \sqrt{E} \cdot e^{-\frac{E}{k_B \cdot T}} \cdot \left(-\frac{1}{k_B \cdot T}\right)$$

$$0 = \underbrace{\frac{2\pi}{(\pi \cdot k_B \cdot T)^{2/3}} \cdot e^{\frac{-E}{k_B \cdot T}}}_{\neq 0} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot E^{-\frac{1}{2}} - \frac{\sqrt{E}}{k_B \cdot T}\right)$$

$$0 = \frac{1}{2} \cdot E^{-\frac{1}{2}} - \frac{\sqrt{E}}{k_B \cdot T}$$

$$\frac{\sqrt{E}}{k_B \cdot T} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{E}} \Rightarrow \underline{\underline{E = \frac{1}{2} \cdot k_B \cdot T}}$$