

UNIDAD DIDÁCTICA 6: EL EQUILIBRIO QUÍMICO

5.- GRADO DE DISOCIACIÓN

ESTUDIA / APRENDE

- La definición y la fórmula del **Grado de Disociación α** .
- La expresión de la constante de equilibrio K_c de una reacción referida al valor del **Grado de Disociación α** .
- La relación entre el valor que tiene K_c y el valor de α .
- La aplicación de todos estos conceptos y fórmulas en la **resolución de ejercicios**.

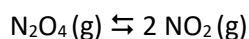
Es frecuente encontrarnos, dentro de las reacciones reversibles, con aquellas en las que una sola sustancia se disocia o descompone parcialmente produciéndose dos o más sustancias nuevas. Esto es debido a que la molécula de la sustancia inicial puede dar lugar a dos o más moléculas igualmente estables.

Para verlo con ejemplos podemos citar:

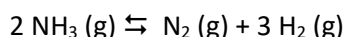
- ⇒ El pentacloruro de fósforo se puede disociar produciendo tricloruro de fósforo y cloro:



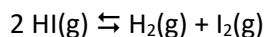
- ⇒ La molécula de tetraóxido de dinitrógeno se puede disociar en dos moléculas de dióxido de nitrógeno:



- ⇒ El amoníaco se puede descomponer dando lugar a nitrógeno y a hidrógeno según la reacción:



- ⇒ El yoduro de hidrógeno puede dar lugar a hidrógeno y yodo:



En estos casos, cuando se produce la disociación de una sustancia, introducimos el concepto de "**GRADO DE DISOCIACIÓN**":

Si inicialmente tenemos un mol de una sustancia, el **GRADO DE DISOCIACIÓN** es la fracción de ese mol que se disocia.

Así por ejemplo, si nos dicen que el grado de disociación de pentacloruro de fósforo en unas condiciones determinadas es 0,7, significa que por cada mol inicial que tuviéramos de PCl_5 , se disociarán 0,7 mientras que 0,3 moles permanecerán en su forma molecular original.

El grado de disociación se representa por la letra griega α .

$$\alpha = \frac{\text{Moles disociados}}{\text{Moles iniciales}}$$

Es esencial que aprendas a utilizar la **ESTRATEGIA** para escribir la relación entre la constante de equilibrio K_c , la concentración inicial (c) y el grado de disociación (α).

NO TE PIERDAS DETALLE: ¡OBSERVA, ESCRIBE, RAZONA Y DEDUCE!

UNA ESTRATEGIA PARA RESOLVER PROBLEMAS EN LOS QUE INTERVIENE EL GRADO DE DISOCIACIÓN: EJEMPLO

Para una cierta cantidad de pentacloruro de fósforo a una presión de 2 atm y a una determinada temperatura, la quinta parte de sus moléculas están disociadas.

Determina el valor de K_p : $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$.

1º - Escribimos la reacción ajustada:



2º - Escribimos los datos que conocemos: el valor del grado de disociación, los moles iniciales de cada sustancia...:

En este caso al decirnos que se disocian la quinta parte de las moléculas nos están dando el grado de disociación, ya que éste valor nos indica la porción de moles disociadas en cada mol de reactivo: si están disociadas la quinta parte de moléculas, significa que por cada mol de pentacloruro de fósforo están disociadas 0,2 moles, luego $\alpha = 0,2$.

Como el número de moles iniciales de PCl_5 lo desconocemos, lo llamamos n_0 . En este caso inicialmente no tendríamos moles de los productos.

3º - Establecemos una tabla como la que aparece a continuación, en la que se indican los moles iniciales que hay de cada sustancia, los moles de cada una que reaccionan, los moles de cada una que se producen y, sumando las filas anteriores, los moles que hay en el equilibrio de cada sustancia.

La última columna la dejamos para sumar el número de moles totales que hay en el equilibrio.

	$\text{PCl}_5(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3(\text{g})$	+	$\text{Cl}_2(\text{g})$	Moles totales
MOLES INICIALES →						
MOLES QUE REACCIONAN →						
MOLES QUE SE FORMAN →						
MOLES EN EL EQUILIBRIO →						

4º - Rellenamos la tabla teniendo en cuenta los datos que se nos han facilitado.

Debemos fijarnos que si n_0 es el nº de moles iniciales, y reaccionan la quinta parte, el nº de moles que reaccionan son $n_0\alpha$, es decir $0,2n_0$.

Por otra parte, comprobamos el coeficiente que lleva cada sustancia; en esta reacción todas llevan como coeficiente el 1, es decir por cada mol que se disocia del reactivo se forma un mol de cada producto,

	$\text{PCl}_5(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3(\text{g})$	+	$\text{Cl}_2(\text{g})$	Moles totales
MOLES INICIALES →	n_0		-		-	
MOLES QUE REACCIONAN →	$n_0\alpha = 0,2n_0$		-		-	
MOLES QUE SE FORMAN →	-		$n_0\alpha = 0,2 n_0$		$n_0\alpha = 0,2 n_0$	
MOLES EN EL EQUILIBRIO →	$n_0 - n_0\alpha = 0,8 n_0$		$0,2 n_0$		$0,2 n_0$	$n_T = 1,2n_0$

5º - Realizamos los cálculos necesarios para resolver el problema.

En el problema que nos ocupa debemos calcular K_p .

Para ello es necesario conocer las presiones parciales de cada sustancia en el equilibrio. Como ya conocemos los moles de cada una así como los moles totales nos resulta sencillo:

$$p_{\text{PCl}_5} = \chi_{\text{PCl}_5} \cdot p_T = \frac{n_{\text{PCl}_5}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,8 n_0}{1,2 n_0} \cdot 2\text{atm} = 1,333\text{atm}$$

$$p_{\text{PCl}_3} = \chi_{\text{PCl}_3} \cdot p_T = \frac{n_{\text{PCl}_3}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,2 n_0}{1,2 n_0} \cdot 2\text{atm} = 0,333\text{atm}$$

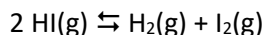
$$p_{\text{Cl}_2} = \chi_{\text{Cl}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,2 n_0}{1,2 n_0} \cdot 2\text{atm} = 0,333\text{atm}$$

$$K_p = \frac{p_{\text{PCl}_3} \cdot p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{PCl}_5}} = \frac{0,333 \text{ atm} \cdot 0,333 \text{ atm}}{1,333 \text{ atm}} = 8,32 \cdot 10^{-2} \text{ atm}$$

EJERCICIOS RESUELTOS:

- Una muestra de 2 moles de HI se introduce en un recipiente que tiene una capacidad de 1 litro. Cuando se calienta el sistema hasta una temperatura de 900K la constante de equilibrio para la disociación del HI es de $K_c = 3,8 \cdot 10^{-2}$. Determina el grado de disociación del HI.

1º - Escribimos la reacción ajustada:



2º - Escribimos los datos que conocemos: el valor del grado de disociación, los moles iniciales de cada sustancia...:

En este caso desconocemos el grado de disociación, luego su valor es α .

Sabemos que $n_0 = 2$.

3º y 4º - Establecemos la tabla y la rellenamos:

Hay que tener en cuenta que, según los coeficientes, por cada 2 moles que se disocian de HI, se produce un mol de H_2 y un mol de I_2 ; o, lo que es lo mismo por cada mol que se disocia de HI se produce $\frac{1}{2}$ mol de cada producto.

	$2 \text{HI}(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{H}_2(\text{g})$	+	$\text{I}_2(\text{g})$	Moles totales
MOLES INICIALES \rightarrow	$n_0 = 2$		-		-	
MOLES QUE REACCIONAN \rightarrow	$n_0 \alpha = 2\alpha$		-		-	
MOLES QUE SE FORMAN \rightarrow	-		$\frac{1}{2} n_0 \cdot \alpha = \alpha$		$\frac{1}{2} n_0 \cdot \alpha = \alpha$	
MOLES EN EL EQUILIBRIO \rightarrow	$2 - 2\alpha =$ $= 2(1-\alpha)$		α		α	$2 - 2\alpha + \alpha + \alpha =$ $= 2$

5º - Realizamos los cálculos necesarios para resolver el problema.

En el problema que nos ocupa debemos calcular α .

Como conocemos el valor de K_c :

$$K_c = \frac{[\text{I}_2]_{\text{eq}} \cdot [\text{H}_2]_{\text{eq}}}{[\text{HI}]_{\text{eq}}^2} = \frac{\frac{\alpha}{2\text{L}} \cdot \frac{\alpha}{2\text{L}}}{\left(\frac{2(1-\alpha)}{1\text{L}}\right)^2} = \frac{\alpha^2}{[2(1-\alpha)]^2}$$

$$\sqrt{K_c} = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} \Rightarrow \sqrt{3,8 \cdot 10^{-2}} = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} \Rightarrow 0,195 = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} \Rightarrow \alpha = 0,28$$

- Se introducen 3g de PCl_5 en un recipiente que tiene una capacidad de 500 cc. A continuación se calienta el recipiente hasta una temperatura de 250°C con lo que se produce la disociación de la sustancia en PCl_3 y Cl_2 . Al llegar al equilibrio la presión dentro del recipiente es de 2,08 atm. Determina el grado de disociación de la sustancia y el valor de K_p para el equilibrio a esa temperatura.

1º - Escribimos la reacción ajustada:



2º - Escribimos los datos que conocemos: el valor del grado de disociación, los moles iniciales de cada sustancia...:

Nos piden que calculemos el grado de disociación y podemos calcular con facilidad el n° de moles iniciales de PCl_5 . El peso molecular de PCl_5 es 208,5, luego 1 mol de PCl_5 son 208,5 gramos.

$$n_0 = 3\text{g}/208,5\text{g} = 0,0144\text{mol}$$

3º y 4º - Establecemos la tabla y la rellenamos:

Hay que tener en cuenta los coeficientes: todos tienen el valor 1

	$\text{PCl}_5(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3(\text{g})$	+	$\text{Cl}_2(\text{g})$	Moles totales
MOLES INICIALES	0,0144		-		-	
MOLES QUE REACCIONAN	$n_0\alpha = 0,0144\alpha$		-		-	
MOLES QUE SE FORMAN	-		$n_0\alpha = 0,0144\alpha$		$n_0\alpha = 0,0144\alpha$	
MOLES EN EL EQUILIBRIO	$n_0 - n_0\alpha = n_0(1-\alpha) = 0,0144(1-\alpha)$		$0,0144\alpha$		$0,0144\alpha$	0,0144(1+α)

5º - Realizamos los cálculos necesarios para resolver el problema.

En el problema que nos ocupa debemos calcular primero α .

Para ello vamos a utilizar la ecuación de los gases perfectos:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \Rightarrow 0,0144 \cdot (1 + \alpha) \text{ mol} = \frac{2,08 \text{ atm} \cdot 0,5 \text{ L}}{0,082 \left(\frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right) \cdot (250 + 273) \text{ K}} \Rightarrow \alpha = 0,684$$

Una vez conocido el valor de α pasamos a calcular el valor de K_p para lo que vamos a determinar antes los valores de las presiones parciales:

$$p_{\text{PCl}_5} = \chi_{\text{PCl}_5} \cdot p_T = \frac{n_{\text{PCl}_5}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,0144 \cdot (1 - \alpha)}{0,0144 \cdot (1 + \alpha)} \cdot 2,08 \text{ atm} = \frac{(1 - \alpha)}{(1 + \alpha)} \cdot 2,08 \text{ atm} = \frac{0,316}{1,684} \cdot 2,08 \text{ atm} = 0,39 \text{ atm}$$

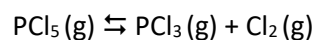
$$p_{\text{PCl}_3} = \chi_{\text{PCl}_3} \cdot p_T = \frac{n_{\text{PCl}_3}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,0144\alpha}{0,0144 \cdot (1 + \alpha)} \cdot 2,08 \text{ atm} = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)} \cdot 2,08 \text{ atm} = \frac{0,684}{1,684} \cdot 2,08 \text{ atm} = 0,84 \text{ atm}$$

$$p_{\text{Cl}_2} = \chi_{\text{Cl}_2} \cdot p_T = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{n_T} \cdot p_T = \frac{0,0144\alpha}{0,0144 \cdot (1 + \alpha)} \cdot 2,08 \text{ atm} = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)} \cdot 2,08 \text{ atm} = \frac{0,684}{1,684} \cdot 2,08 \text{ atm} = 0,84 \text{ atm}$$

$$K_p = \frac{p_{\text{PCl}_3} \cdot p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{PCl}_5}} = \frac{0,84 \text{ atm} \cdot 0,84 \text{ atm}}{0,39 \text{ atm}} = 1,81 \text{ atm}$$

- En la descomposición de pentacloruro de fósforo en determinadas condiciones de presión y temperatura el grado de disociación α es 0,4. Si el número de moles iniciales de PCl_5 eran 3 ¿Cuántos moles de PCl_5 habrá en el equilibrio? ¿Y cuántos moles de PCl_3 y de Cl_2 ?

1º- Como hemos indicado la reacción de disociación es:



2º- Como el grado de disociación es la porción disociada de cada mol, la cantidad disociada de PCl_5 será igual al número de moles iniciadas por el grado de disociación ($n_0 \cdot \alpha$), y tendríamos:

$$n_0 \cdot \alpha = 3 \cdot 0,4 = 1,2.$$

Habrán 1,2 moles disociadas, por lo que quedarán sin disociar:

$$3 - 1,2 = 1,8 \text{ moles.}$$

Fíjate que quedan sin disociar los moles que había inicialmente (n_0) menos los moles que se han disociado ($n_0 \cdot \alpha$). Es decir los moles que quedan sin disociar (moles en equilibrio n_{eq}) se calculan así:

$$n_{\text{eq}}(\text{PCl}_5) = n_0 - n_0 \cdot \alpha = n_0(1 - \alpha)$$

Para averiguar el número de moles que se forman de PCl_3 y de Cl_2 nos tenemos que fijar en los coeficientes que acompañan a cada sustancia en la reacción ajustada.

En este caso vemos que por cada mol que se descompone de PCl_5 se producen 1 mol de PCl_3 y 1 mol de Cl_2 . Como se han disociado 1,2 moles de PCl_5 , se formarán 1,2 moles de PCl_3 y 1,2 moles de Cl_2 , cálculo que equivale al valor $n_0 \cdot \alpha$.

3º y 4º - Para resolver los problemas de grado de disociación lo escribiremos mediante la siguiente tabla:

REACCIÓN	$\text{PCl}_5(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{PCl}_3(\text{g})$	+	$\text{Cl}_2(\text{g})$
Moles iniciales	$n_0 = 3$		0		0
Moles que se descomponen	$n_0 \cdot \alpha = 1,2$				
Moles que se forman			$n_0 \cdot \alpha = 1,2$		$n_0 \cdot \alpha = 1,2$
Moles en el equilibrio	$n_0 - n_0 \cdot \alpha = 3 - 1,2 = 1,8$		1,2		1,2

5º - Moles de PCl_5 en el equilibrio = 1,8
 Moles de PCl_3 en el equilibrio = 1,2
 Moles de Cl_2 en el equilibrio = 1,2

- En un recipiente de 1L de capacidad se introduce amoniaco a una temperatura de 20°C y a la presión de 14,7 atm. A continuación se calienta el recipiente hasta 300°C y se aumenta la presión hasta 50 atm. Determina el grado de disociación del amoniaco.

Para conocer la cantidad inicial de amoniaco, aplicamos la ecuación de los gases perfectos a las condiciones iniciales.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{14,7 \text{ atm} \cdot 1 \text{ L}}{0,082 \left(\frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right) \cdot (20 + 273) \text{ K}} = 0,612 \text{ mol}$$

Como la reacción de disociación del amoniaco es: $2 \text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g})$

Construimos una tabla de valores para el equilibrio de disociación del amoniaco, teniendo presente que por cada mol formado de N_2 se forman 3 moles de H_2 y desaparecen 2 de NH_3 .

REACCIÓN	$2 \text{NH}_3(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{N}_2(\text{g})$	+	$3 \text{H}_2(\text{g})$
Moles iniciales	0,612		0		0
Moles que se descomponen	$-2x$				
Moles que se forman			x		3x
Moles en el equilibrio	$0,612 - 2x$		x		3x

El número de moles en el equilibrio es: $n = 0,612 - 2x + x + 3x = 0,612 + 2x$

Aplicando al equilibrio la ecuación de los gases perfectos tenemos:

$$x = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \Rightarrow (0,612 + 2x) \text{ mol} = \frac{50 \text{ atm} \cdot 1 \text{ L}}{0,082 \left(\frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \right) \cdot (300 + 273) \text{ K}} \Rightarrow x = 0,226 \text{ mol}$$

El grado de disociación del amoníaco es:

$$\alpha = \frac{n^\circ \text{ moles disociados}}{n^\circ \text{ moles iniciales}} = \frac{2x}{0,612 \text{ mol}} = \frac{2 \cdot 0,226 \text{ mol}}{0,612 \text{ mol}} = 0,739 = 73,9\%$$

CONTESTA Y REPASA

- En un recipiente cerrado y vacío de 20 litros se introducen 480g de pentacloruro de antimonio. Se eleva la temperatura a 180°C y se establece el equilibrio:



El valor de K_p para este equilibrio a 180°C es de 0,093. Calcula:

- El valor de K_c para este equilibrio a 180°C .
- El grado de disociación de pentacloruro de antimonio.
- Los gramos de tricloruro de antimonio en el equilibrio.

DATOS: Masas atómicas: Cl = 35,5; Sb = 122; R = 0,082(atm·L/mol·K)

- El tetraóxido de dinitrógeno (gas) se descompone parcialmente a 45°C para dar dióxido de nitrógeno (gas). En un recipiente vacío de un litro de capacidad, a 45°C se introducen 0,1 moles de tetraóxido de dinitrógeno alcanzándose en el equilibrio una presión de 3,18 atmósferas. Calcula:
 - a) Las constantes de equilibrio en función de las presiones y de las concentraciones.
 - b) El grado de disociación del tetraóxido de dinitrógeno.

DATOS: Masas atómicas: Cl = 35,5; Sb = 122; $R = 0,082(\text{atm}\cdot\text{L}/\text{mol}\cdot\text{K})$

- El grado de disociación de cloro molecular en un recipiente de 10 litros en el que se introducen 0,01 moles de cloro es del 1%. Calcula la constante de equilibrio.