

# Wykładnik stężenia jonów wodorowych

Wodór, którego atom posiada najprostszą budowę, odgrywa w przyrodzie i w technice olbrzymią rolę. Atom wodoru składa się, jak zresztą atom każdego pierwiastka, z jądra i powłoki elektronowej. W jądrze atomu wodoru, zgodnie z liczbą porządkową czyli atomową, znajduje się jeden proton o ładunku elektrycznym dodatnim, w powłoce elektronowej natomiast krąży jeden elektron o ładunku elektrycznym ujemnym, a wielkością równym ładunkowi protonu. Atom wodoru jako całości jest w równowadze elektrycznej, jest elektrycznie obojętny. Jeśli atom wodoru straci elektron, staje się *jonem wodorowym*, który właściwie jest protonem. Najprostszym związkiem chemicznym wodoru jest woda. W drobinie wody na atom tlenu przypadają dwa atomy wodoru. Drobiny wody w stanie ciekłym nie zachowują się obojętnie względem siebie. W chemicznie czystej

wodzie, w tym najbardziej powszechnym rozpuszczalniku, zachodzi zjawisko *protolizy*:



Jak z powyższego równania reakcji protolizy wynika, jedne drobiny wody działają jako *protolizatory*, czyli oddawacze protonów na inne drobiny wody, które są *deprotonatorami*, to jest odbieraczami protonów. Na skutek tego procesu powstają w wodzie jony hydroksonowe  $\text{H}_3\text{O}^+$  i jony hydroksylowe czyli wodorotlenowe  $\text{OH}^-$ . Jon *hydroksonowy*  $\text{H}_3\text{O}^+$  jest prosto uwodnionym protonem lub uwodnionym jonem  $\text{H}^+$ .

W chemicznie czystej wodzie, w każdej temperaturze, ustala się równowaga chemiczna między drobinami wody, które nie uległy protolizie, a jonami  $\text{H}_3\text{O}^+$  i  $\text{OH}^-$ . Dla prostoty dalszego wyjaśniania, uwodnione jony wodorowe  $\text{H}_3\text{O}^+$  można rozpatrywać jako wolne jony wodorowe  $\text{H}^+$ .



Bardzo ważną dla chemii jest strona ilościowa powyższego zjawiska. W chemicznie czystej wodzie, w stałej temperaturze ustala się stężenie jonów wodorowych równe stężeniu jonów wodorotlenowych:

$$[H'] = [OH']$$

Klamrami prostokątnymi oznacza się stężenia. Jednostką stężenia przyjętą w obliczeniach chemicznych jest gramodrobina czyli mol, gramoatom lub gramojon, przypadający na objętość litra roztworu. W myśl definicji stężenia, pomijając częściowy rozpad wody na jony  $H'$  i  $OH'$ , można też wyliczyć „stężenie wody w wodzie”. W temperaturze  $20^{\circ}C$  masa litra wody wynosi około 1000 gramów, ponieważ mol wynosi 18,016 g, toteż w litrze wody znajduje się  $1000 : 18,016 = 55,5$  mola wody, czyli stężenie wynosi 55,5. Chemicznie czysta woda jest roztworem jonów  $H'$  i  $OH'$ . Pomiarzy fizykochemiczne wykazały, że w temperaturze  $20^{\circ}C$  stężenie jonów wodorowych w wodzie wynosi  $10^{-7}$  gramojonu wodorowego na litr wody.

$$\left[ \begin{aligned} 10^0 &= 1, \quad 10^{-1} = \frac{1}{10}, \quad 10^{-2} = \frac{1}{10^2} = \frac{1}{100}, \quad 10^{-3} = \\ &= \frac{1}{10^3} = \frac{1}{1000}, \quad \dots \dots \dots \quad 10^{-7} = \frac{1}{10^7} = \\ &= \frac{1}{10000000} \end{aligned} \right]$$

Chemicznie czysta woda charakteryzuje się tym, że w temperaturze  $20^{\circ}C$ , w 1 litrze, tylko dziesięciomilionowa część jednej gramodrobiny (mola) wody ulega rozpadowi na jony  $H'$  i  $OH'$ . Powstaje wówczas dziesięciomilionowa część gramojonu  $H'$  i dziesięciomilionowa część gramojonu  $OH'$ .

Według obliczeń Loschmidta-Avogadry, gramodrobina, gramoatom, gramojon jest to  $6,02 \cdot 10^{23}$  pojedynczych drobin, atomów i jonów. Liczba  $6,02 \cdot 10^{23}$  jest olbrzymia, bo jeśli np.  $6,02 \cdot 10^2 = 6,02 \cdot 100 = 602$ , a  $6,02 \cdot 10^3 = 6,02 \cdot 1000 = 6020$ , to  $6,02 \cdot 10^{23} = 602$  i 21 zer.

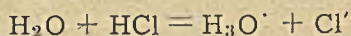
W litrze chemicznie czystej wody w temperaturze  $20^{\circ}C$  znajduje się tylko dziesięciomilionowa część gramojonu,  $10^{-7}$  gramojonu = 1 gramojon :  $10^7 = 6,02 \cdot 10^{23} : 10^7 = 6,02 \cdot 10^{16}$  pojedynczych jonów wodorowych. Ażeby wyobrazić sobie realniej jaka jest to duża ilość jonów, należy wykonać następujące przykładowe wyliczenie:

Litr wody chemicznie czystej w temperaturze  $20^{\circ}C$  to około  $1000 \text{ cm}^3$  lub  $1\,000\,000 \text{ mm}^3 = 10^6 \text{ mm}^3$  wody. Jeśli w litrze znajduje się  $6,02 \cdot 10^{16}$  pojedynczych jonów wodorowych, to w  $1 \text{ mm}^3$  jest tych jonów milion razy mniej czyli  $6,02 \cdot 10^{16} : 10^6 = 6,02 \cdot 10^{10} = 60\,200\,000\,000$  a więc sześćdziesiąt miliardów dwieście milionów pojedynczych jonów  $H'$ . Gdyby je można było jakimś sposobem z  $1 \text{ mm}^3$  wody wyciągnąć i rozdzielić między wszystkich ludzi na kuli ziemskiej, to każdy człowiek otrzymałby około 30 jonów  $H'$ .

## Iloczyn jonowy wody.

Prawem przyrody stężenie jonów  $H'$  i  $OH'$  w temperaturze  $20^{\circ}C$ , w chemicznie czystej wodzie wynosi  $10^{-7}$  gramojonu na litr. Iloczyn z powyższych stężeń, nazywa się iloczynem jonowym wody i wynosi on:  $K_{H_2O} = [H'] \cdot [OH'] = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}$  (wykładniki potęgowe sumuje się). Iloczyn jonowy wody w stałej temperaturze jest wielkością stałą, a w temperaturze  $20^{\circ}C$  wynosi zawsze  $10^{-14}$ .

Jeżeli do wody wprowadzi się drobiny innych substancji, które mogą zmieniać stężenie jonów  $H'$  i  $OH'$ , to nie mogą one jednak zmienić iloczynu jonowego wody, bowiem jest on *wielkością stałą*. Na przykład 0,1 normalny roztwór wodny chlorowodoru jest to roztwór, który w litrze zawiera 0,1 gramorównoważnika  $HCl$  (czyli w tym wypadku 0,1 gramodrobiny  $HCl$ ). Drobiny chlorowodoru wprowadzone do wody ulegają reakcji protolizy:



lub prościej według Arrheniusa, drobiny  $HCl$  ulegają dysocjacji elektrolitycznej na jony  $H'$  i jony  $Cl'$ . Można przyjąć, że wszystkie wprowadzone drobiny uległy rozpadowi na jony. Z dziesiątej części gramodrobiny  $HCl$  przy całkowitym rozpadowie może powstać tylko dziesiąta część gramojonu  $H.W$  01 normalnym roztworze wodnym  $HCl$ ,  $[H'] = 0,1 = 10^{-1}$ , ponieważ iloczyn jonowy musi być zachowany, łatwo więc wyliczyć ile wynosi  $[OH']$ :

$$\begin{aligned} [H'] \cdot [OH'] &= 10^{-14} \\ 10^{-1} \cdot [OH'] &= 10^{-14} \\ [OH'] &= \frac{10^{-14}}{10^{-1}} = 10^{-13}. \end{aligned}$$

Jak z wyliczenia wynika, stężenie jonów  $OH'$  zmalało, ponieważ stężenie jonów  $H'$  w wodzie wzrosło a iloczyn jonowy, jako wielkość stała, pozostał niezmienny. Tablica 1 podaje zależności między stężeniami jonów  $H'$  i jonów  $OH'$  w roztworach wodnych kwasów i zasad w temperaturze  $20^{\circ}C$ . W każdym wodnym roztworze kwasu czy zasady znajdują się równocześnie jony wodorowe i jony wodorotlenowe. Odczyn roztworu wodnego można wyrażać stężeniem jonów wodorowych lub stężeniem jonów wodorotlenowych (tablica 1). Jeśli stężenie jonów  $H'$  jest większe aniżeli stężenie jonów  $OH'$ , roztwór posiada odczyn kwaśny.

Stężenie jonów wodorowych większe od  $10^{-7}$  (np.  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$  itd.) charakteryzuje roztwory kwaśne. Stężenie jonów mniejsze od  $10^{-7}$  (np.  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$  itd.) charakteryzuje roztwory alkaliczne. Roztwór wodny o obojętnym odczynie posiada  $[H'] = 10^{-7}$  (tablica 2). Aby uniknąć ujemnych potęg liczby 10 wyrażających stężenie jonów wodorowych, Sørensen wprowadził pojęcie  $P_H$  (potentia hydrogenii). Jest to ujemny logarytm ze stężenia jonów wodorowych:

$$p_H = -\log [H']$$



Tablica 1

Zależność stężenia jonów H' i jonów OH' wynikająca z iloczynu jonowego wody w temperaturze 20° C

Odczyn roztworu	[H']	[OH']	(H) · (OH) = K <sub>H<sub>2</sub>O</sub>
Kwaśny	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>0</sup> · 10 <sup>-14</sup> = 10 <sup>-14</sup>
	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-1</sup> · 10 <sup>-13</sup> = 10 <sup>-14</sup>
	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-14</sup>
	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-11</sup>	"
	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-10</sup>	"
	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-9</sup>	"
	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-8</sup>	"
Obojętny	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-14</sup>
Alkaliczny	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-14</sup>
	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-5</sup>	"
	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-4</sup>	"
	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-3</sup>	"
	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-2</sup>	"
	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-1</sup>	"
	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>0</sup>	"

Na przykład:

$$[H'] = 10^{-2}, \text{ to } p_H = 2.$$

W tablicy 2 podane są stężenia jonów wodorowych oraz przeliczenia stężeń na p<sub>H</sub>. Jak z tablicy wynika p<sub>H</sub> w rozcieńczonych roztworach wodnych kwasów lub zasad mieści się w granicach od 0 do 14.

Podobnie jak stężenie jonów wodorowych może być wyrażane przy pomocy p<sub>H</sub>, tak też stężenie jonów wodorotlenowych może być wyrażane przy pomocy p<sub>OH</sub>, które jest również wykładnikiem ze znakiem przeciwnym potęgi liczby 10 określającej stężenie jonów OH.

Suma p<sub>H</sub> i p<sub>OH</sub> w każdym wodnym roztworze jest wielkością stałą i w temperaturze 20° C wynosi 14. Rys. 1 wyraża jasno zależność p<sub>H</sub> i p<sub>OH</sub>. Jeśli np. p<sub>H</sub>=3, to z dolnej skali rys. 1 wynika, że p<sub>OH</sub>=11.

Tablica 2

Obliczenia p<sub>H</sub>

(H)	Wyliczenie p <sub>H</sub> p <sub>H</sub> = -log[H']	p <sub>H</sub>	Odczyn roztworu
10 <sup>0</sup>	p <sub>H</sub> = $-\frac{(0 \log 10)}{1} = 0$	0	kwaśny
10 <sup>-1</sup>	p <sub>H</sub> = $-(-1 \log 10) = 1$	1	
10 <sup>-2</sup>	p <sub>H</sub> = $-(-2 \log 10) = 2$	2	
10 <sup>-3</sup>		3	
10 <sup>-4</sup>		4	
10 <sup>-5</sup>		5	
10 <sup>-6</sup>		6	alkaliczny
10 <sup>-7</sup>		7	
10 <sup>-8</sup>		8	
10 <sup>-9</sup>		9	
10 <sup>-10</sup>		10	
10 <sup>-11</sup>		11	
10 <sup>-12</sup>		12	
10 <sup>-13</sup>		13	
10 <sup>-14</sup>		14	



Rys. 1

Stężenie jonów wodorowych ma zasadnicze znaczenie dla przebiegu wielu reakcji chemicznych.

W praktyce laboratoryjnej, analitycznej, technologicznej i innej, powszechnie określa się je przy pomocy p<sub>H</sub>. Pomiar p<sub>H</sub> prowadzone są z dużą dokładnością. Na przykład z pomiaru wynika, że p<sub>H</sub>=1,75, to [H'] = 10<sup>-1,75</sup>, przy pomocy logarytmów łatwo się wylicza, że 10<sup>-1,75</sup> = 1,78 · 10<sup>-2</sup>. Tabele w różnych podręcznikach chemicznych, a także w „Kalendarzu Chemicznym” z 1950/51 roku na str. 134 podają gotowe przeliczenia stężenia jonów wodorowych ze znanego p<sub>H</sub>. Na przykład jeśli p<sub>H</sub>=0, to [H'] = 10 p<sub>H</sub> = 10<sup>0</sup> = 1. Roztwór jest bardzo kwaśny, bowiem zawiera w litrze gramjon wodoru. Z tablicy 2 wynika, że p<sub>H</sub> od 0 do 7 określa odczyn roztworu kwaśny, p<sub>H</sub>=7 odczyn obojętny, a p<sub>H</sub> od 7 do 14 określa odczyn alkaliczny.

Ponieważ logarytm potęgi dziesięciu jest równy iloczynowi wykładnika potęgi i logarytmu liczby 10, a logarytm 10=1, toteż p<sub>H</sub> jest prosto wykładnikiem potęgowym ze znakiem przeciwnym liczby 10 wyrażającej stężenie jonów H'.

Tadeusz Pukas