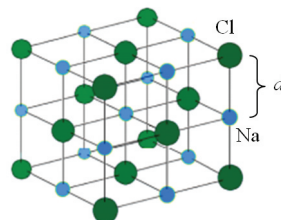


## Određivanje Avogadrove konstante pomoću STM slike kristala NaCl

Jakov Labor<sup>1</sup>

Avogadrova konstanta ( $N_A$ ) je broj čestica u molu. Za njezino određivanje pogodne su tvari kod kojih pravilno razmješteni atomi čine kristalnu rešetku. Na slici 1 prikazana je kristalna rešetka kuhinjske soli (NaCl). Manjim kuglicama prikazani su atomi natrija (Na), a većim atomi klora (Cl). Atomi se nalaze u vrhovima kocke, kao jedinične ćelije, koja se ponavlja.



Slika 1.

U molu kuhinjske soli nalazi se po  $N_A$  atoma natrija i klora, dakle ukupno  $2N_A$  atoma. Ako se na svakom bridu molne kocke nalazi  $x$  atoma, vrijedi

$$2N_A = x^3 \quad \text{odnosno} \quad x = \sqrt[3]{2N_A}.$$

Označimo li razmak susjednih atoma s  $d$ , za duljinu brida molne kocke ( $a$ ) možemo pisati  $a = xd = \sqrt[3]{2N_A}d$ , a za obujam kocke, odnosno mola  $V = a^3 = 2N_A d^3$ . Kvocijent je molne mase ( $M$ ) i obujma gustoća ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{2N_A d^3}$$

iz čega je Avogadrova konstanta

$$N_A = \frac{M}{2\rho d^3}. \quad (1)$$

Pomoću skenirajućeg tunelskog mikroskopa (STM) može se dobiti slika jednog sloja rešetke. Na slici 2a prikazan je skenirani sloj kuhinjske soli koji se nalazi na zlatnoj površini. Manji i tamni kružići su atomi natrija, a veći i svijetli atomi klora. Slika ima oblik kvadrata stranice 7.2 nm.

Na slici 2a ravnalom možemo izmjeriti duljinu  $l$  (koja stvarno iznosi 7.2 nm) i duljinu ( $L$ ) dužine  $\overline{AB}$ . Stvarnu duljinu ( $L'$ )  $|\overline{AB}|$  možemo izračunati iz

$$\begin{aligned} \frac{L'}{L} &= \frac{7.2 \text{ nm}}{l} \\ L' &= \frac{7.2 \text{ nm}}{l} \cdot L. \end{aligned} \quad (2)$$

Na toj je duljini smješteno 16 razmaka između susjednih atoma natrija ( $D$ ).

$$L' = 16D. \quad (3)$$

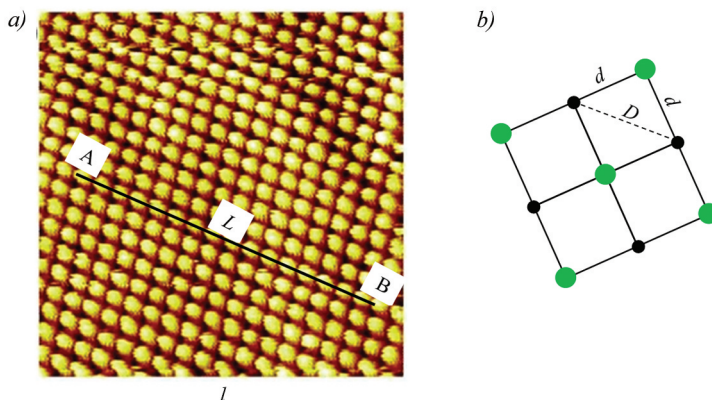
Prema slici 2b, taj je razmak ( $D$ ) jednak duljini dijagonale kvadrata stranice  $d$

$$D = d\sqrt{2}. \quad (4)$$

Iz (2), (3) i (4) slijedi izraz za udaljenost između susjednih atoma natrija i klora

$$d = \frac{L}{16\sqrt{2}l} \cdot 7.2 \text{ nm}. \quad (5)$$

<sup>1</sup> Autor je profesor fizike u mirovini u Šibeniku.



Slika 2.

Rezultati dobiveni jednim mjerenjem navedeni su u tablici.

$L$ [m]	$l$ [m]	$d$ [m]	$M$ [kg mol <sup>-1</sup> ]	$\rho$ [kg m <sup>-3</sup> ]	$N_A$ [mol <sup>-1</sup> ]
0.060	0.067	$2.8 \cdot 10^{-10}$	0.05845	2165	$6.1 \cdot 10^{23}$

Prijenosom slike iz izvornog dokumenta u MFL vjerojatno su promijenjeni iznosi duljina  $L$  i  $l$ . Utječe li to na dobiveni iznos Avogadrove konstante? Provjerite računanjem!

Mjerenje razmaka između susjednih atoma pomoću rendgenskog zračenja daje pouzdaniji rezultat.

Vrijednost Avogadrove konstante odabrana je tako da je masa jednog mola nekog kemijskog spoja (u gramima) numerički jednaka prosječnoj masi jedne molekule tog spoja (u daltonima, atomskim jedinicama mase). Jedan dalton je 1/12 mase atoma ugljika-12, što je približno jednako masi nukleona (protona ili neutrona) vezanog u jezgri atoma. Na primjer, prosječna masa molekule vode je 18.0153 daltona, a masa jednog mola vode je 18.0153 grama. Tako je, u stvari, Avogadrova konstanta faktor kojim množimo masu jedne molekule da bi dobili molarnu masu odgovarajućeg spoja. Također, Avogadrov broj je približno jednak broju nukleona u gramu bilo koje tvari.

Avogadrov broj bio je tijekom povijesti različito definiran. Prvo približno mjerenje obavio je Josef Loschmidt 1865. Tada je broj bio definiran (Jean Perrin) kao broj atoma u 16 grama kisika. Kao i kasnije, mol je bio definiran kao broj atoma referentne tvari (16 g kisika, kasnije 12 g ugljika-12). Takva je definicija ovisila o eksperimentalnom utvrđivanju mase jednog atoma u gramima (nalik na mjerenje u ovom članku) i, kao takav, Avogadrov broj je u početku imao znatnu eksperimentalnu grešku.

Na 26. zasjedanju Međunarodnog ureda za utege i mjere (BIPM), usvojen je drukčiji pristup: Od 20. svibnja 2019. Avogadrov broj definiran je kao točno  $N = 6.02214076 \cdot 10^{23}$ , a mol kao količina tvari koja sadrži točno  $N$  čestica te tvari. Po novoj je definiciji molarna masa, a ne Avogadrov broj, veličina koja se eksperimentalno utvrđuje za svaku tvar. Pri tome znatno pomaže što su kemijske energije vezanja znatno manje od nuklearnih, pa možemo vrlo precizno (ali ne i posve točno) uzeti da je molarna masa spoja jednaka sumi masa atoma koji čine spoj.