



Bazsa György

■ Debreceni Egyetem, Fizikai Kémiai Tanszék | bazsa@unideb.hu

250 éve született Amedeo Avogadro, az Avogadro-állandó névadója

Amikor a számok beszélnek

9,81 m/s²
343 m/s
300 000 000 m/s
602 000 000 000 000 000 000 mol⁻¹

Ezek a számok közismert állandók értékei, és a folyóirat szinte minden olvasója azonnal felismeri – legalábbis az első hármat: a nehézségi gyorsulás, a hangsebesség és a fénysebesség természeti értékeit.¹ A negyedik, szokatlanul hosszú számon kicsit elgondolkodik, mert aligha valószínű, hogy látta már ebben a formában, de aztán majd mindenki számol és „kapcsol”: ezt a számot $6,02 \cdot 10^{23}$ alakban Avogadro-állandóként tanultuk: ez az 1 mól anyagmennyiségben lévő atomok vagy molekulák számát adja meg [URL1].

Alighanem Amedeo Avogadro (1776–1856) itáliai kémikus-fizikus is rácsodálkozott volna a szám nagyságára, ha ki tudta volna számolni a maga idejében. Értékét először Johann Josef Loschmidt osztrák fizikai kémikus határozta meg 1865-ben. A nagy szám nem tűnhetett földi halandó számára könnyen felfogható értéknek, s ma sem tűnik annak.



Amedeo Avogadro
(C. Sentier
1856-os rajza nyomán)

Amedeo Avogadro

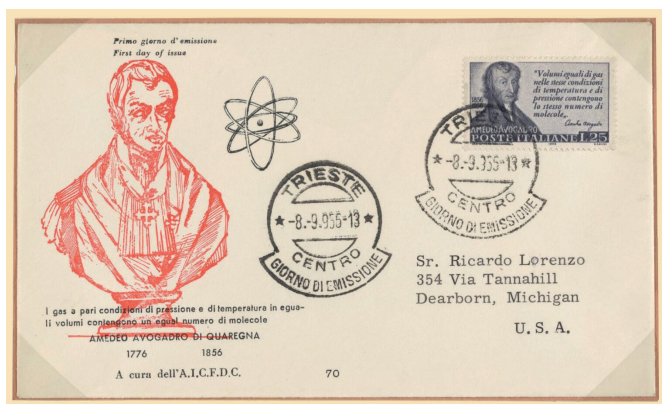
¹ A szabadesés (gravitációs gyorsulás) mértéke helytől és magasságtól függően kissé változik, a 9,81 m/s² közismert „közéérték”, Párizsban ennyit mérnek. 343 m/s a hangterjedés sebessége a levegőben 20 °C-on (de minden közegben és hőmérsékleten más), a harmadik adat a fénysebesség kerekített értéke, ami egészen pontosan és rögzítetten 299 792 458 m/s – vákuumban.

A 9,81 m/s² a hétköznapijainkban rendszeresen érzékelt egyik jelenség, a szabadesés (gravitációs gyorsulás) számszerű értéke. A 343 m/s a hang terjedésének sebessége levegőben, ami például a távoli villámlás és az azt követő mennydörgés közötti, gyakran tapasztalt néhány másodperces időkülönbség révén könnyen belátható. A fénysebesség 300 000 000 m/s nagyságát már nem tudjuk érzékelni a hétköznapiokban (laboratóriumban mérni is tudjuk), de ha olvassuk, hogy a Napból a Földre 8,3 perc alatt ér a fény, akkor van sejtésünk a nagyságáról. Egy-két nagyságrenddel nagyobb számmal még „elbaldogulunk”: a Föld lakossága napjainkban 8 milliárd (8000 millió, azaz $8 \cdot 10^9$) fő, ami szemléletileg érzékelhető, felfogható adat. De a $6,02 \cdot 10^{23}$, azaz 602 zetta [URL2] (a magyarban 602 trillió, az angolban 602 sextillion) nagyságának érzékelése már nagy fantáziát igényel, s lehet, hogy még az sem segít igazán. Talán mutatja e szám hétköznapi felfoghatatlanságát egy bizarr számolás: próbáljuk meg elképzelni, hogy a 8 milliárd földi lakos mindegyikének 8 milliárd gyermeke van ($8 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^9 = 64 \cdot 10^{18}$, azaz 64 trillió), és ez utóbbiak mindegyikének még további tíz-tízezer leszármazottja, azaz összesen $64 \cdot 10^{18} \cdot 10^4 = 6,4 \cdot 10^{23}$ fő. Ez éppen olyan nagyságú érték, mint az Avogadro-szám. Ki tudja elképzelni, mekkora embertömeg lenne ez és mekkora földgömbön férnének el ennyien? Ez már egyfajta számkáosz. Látványosan mutatja a mól nagyságát, ha például azal szemléltetjük, hogy 1 mól mennyiségű, fél centiméter átmérőjű meggy 60 méter magasan beborítaná az egész Föld felszínét! Pedig érdemes lenne ezt a számértéket a köznapokban is jól érzékelni, mert tudjuk, hogy megszámlálhatatlanul sok trillió atom vagy molekula van a testünkben,² és még több vesz körül bennünket a Földön, nem szólva a világűréről. Érthető hát, hogy szükségünk van egy jól működő hídra, egy jól kezelhető kapcsolatra a valós méreteiben nem érzékelhető atomi világ és a természet (tudomány) napi valóság méretei között. Ezt a kapcsolatot teremtette/teremt meg az Avogadro-állandó (N_A). Ezért lett a ma is érvényes SI nemzetközi mértékegységrendszer [URL3] alapegysége az *anyagmennyiség* (jele n). Mértékegységének neve *mól*, ennek jele: mol.³ [Összehasonlításul: *idő* (t), *másodperc* (s); illetve *távolság* (l), *méter* (m).]

Az anyag *mennyiségét* egy adott rendszer esetén a *mól* számértékével adjuk meg, a rendszer *tömegét* viszont *grammban* mér-

² Egy ember tömege kb. 70 kg, így „1 mólnyi ember” tömege $420 \cdot 10^{23}$ kg lenne. A Föld tömege kerekén $60 \cdot 10^{23}$ kg. Egy mólnyi ember tömege tehát kb. 7-szerese a Föld tömegének.

³ Angolul: amount of substance (N), az egység neve mole, ennek szimbóluma mol.



Az olasz posta Avogadro halálának centenáriuma kiadott emlékbélyege és első napi boríték. A bélyegen levő szöveg az Avogadro-törvény

jük. Például 1 mól mennyiségű arany kereken 197 g tömegű aranyat jelent,⁴ 1 mól víz pedig 18 gramm vizet. Kémikusok, fizikusok (és mások) a koncentráció kifejezésére rendszeresen használják a *mólos* oldat kifejezést: 0,5 mólos NaCl-oldat azt jelenti, hogy 1 liter (1 dm³) oldatban a konyhasó 0,5 mólja, azaz 29,22 g só van feloldva (egyébként ennyi a tengervíz átlagos sókoncentrációja). A laboratóriumban a vegyszerpolcon „3,3 mol/dm³ ecetsav” olvasható a lombikon (3,3 mólos ecetsav – mondjuk röviden). Az üzletekben ugyanezt az oldatot 20%-os ételleccéként vesszük meg, ott nem használjuk a mólkoncentrációt. Kisebb koncentrációkat – pl. az orvosi laboreredményeket – millimol/dm³, mikromol/dm³, nanomol/dm³ stb. értékekkel adhatunk meg. A „másik végen” a nagy koncentrációjú oldatok körébe tartozik például a tömény kénsav: ≈18 mol/dm³, a tömény sósav: ≈12 mol/dm³, a jégecet: ≈17 mol/dm³, a tömény NaOH-oldat: ≈19 mol/dm³.

S hogy az anyagmennyiség (mol) kérdése továbbra is aktuális tudományos és nemcsak tudománytörténeti téma, azt jól mutatja, hogy az SI rendszer bevezetése után tizenegy évvel, 1971-ben vezették be hetedik alapegységként a hossz (egysége m), a tömeg (kg), az idő (s), az áramerősség (A), az abszolút hőmérséklet (K), a fényerősség (cd) mellé. Végleges számértékét (6,02214076 · 10²³ mol⁻¹) a közelmúltban, 2019-ben fogadta el az illetékes nemzetközi szervezet [Seshavatharam et al., 2025].

Avogadro életútja

Amedeo Avogadro (teljes nevén Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro, Quaregna és Cerreto grófja) 1776. augusztus 9-én született arisztokrata családba, Torinóban (németül és régebben a magyarban: Turin, lásd „turini remete”), a Szárd-Piemonti Királyság akkori fővárosában [Ciardi, 2020; URL4, URL5]. Apja Filippo Avogadro gróf, anyja Anna Maria Vercellone volt. A család férfi tagjai generációkon át jogászként tevékenykedtek. Apja elismert ügyvéd és köztisztviselő, Piemont szenátora, majd a szenátus főtanácsosa, később a szenátus elnöke is volt. Ilyen erős

jogi háttérrel Amedeo Avogadro természetes módon választotta a családi hivatást, miután már tizenhat évesen jogtudományi alapidiplomát, majd négy évvel később egyházjogi doktorátust szerzett. 1801-ben kinevezték Eridano megye prefektúrájának titkárává. Közben magántanulmányokat folytatott matematikából és fizikából. 1806-ban demonstrátor (tanársegéd) lett a Torinói Akadémián (Collegio delle Province), majd 1809-ben gimnáziumi fizikatanár Vercelliben.

1820-ban meghívták a Torinói Egyetem matematika–fizika tanszékére. Tudományos tevékenysége mellett aktívan részt vett az 1821-es politikai forradalmi mozgalmakban, aminek következtében 1822-ben elmozdították tanszékéről. Ezután számvevőszéki tanácsosként működött. 1833-ban a király helyreállította az egyetemi tanszéket. Visszahívták a tanszékre, s ott dolgozott nyugdíjazásáig, 1850-ig. Tudományos tevékenysége eredményeként számos fizikai és kémiai tartalmú értekezést írt, amelyek nagyobb részben a torinói akadémia kiadványaiban jelentek meg. Személyes kapcsolatokat csak szűkebb környezetével tartott, európai tudósokkal nem volt együttműködése, így korában nem vált ismert tudóssá. 1837 és 1841 között négy kötetben összesítette és adta ki tudományos munkásságát *Fisica dei corpi ponderabili, ossia Trattato della costituzione materiale de' corpi* címmel (A mérhető testek fizikája, avagy értekezés a testek anyagi felépítéséről).

1815-ben vette feleségül Felicita Mazzét (1795–1870). Hat fiúgyermekük született. 1856. július 9-én, 80 éves korában hunyt el Torinóban. Sírhelye Torinótól mintegy 70 km-re ÉK-re, a kis Quaregna Cerreto faluban van, ahol a családnak birtokai voltak [URL6].

Megbecsülésének számos formáját ismerjük. Nevét egyetem viseli Kelet-Piemontban, Vercelli székhellyel: *Università degli Studi del Piemonte Orientale „Amedeo Avogadro”*, oktatási intézmény Torinóban: az *Istituto Amedeo Avogadro (Istituto tecnico industriale statale Amedeo Avogadro è una scuola superiore)* [URL7], köztér több olasz városban. Az olasz posta Avogadro-bélyeg [URL8], az olasz Nemzeti Centenáriumi Bizottság pedig Avogadro-érmet adott ki 1956-ban [URL9]. Mellszobra áll Vercelli parkjában [URL10]. Az Olasz Tudományos Akadémia háromévenként *Avogadro Colloquia* tudományos rendezvényt tart, rendszerint ekkor ítélik oda a *Medaglia Amedeo Avogadro* kitüntetést [URL11]. Holdkráter és aszteroidát is neveztek el róla [URL12, URL13].



Avogadro siremléke (Quaregna Cerreto)



A torinói Istituto Amedeo Avogadro bejárata

(Lente Gábor felvételét az ő szíves hozzájárulásával közöljük)

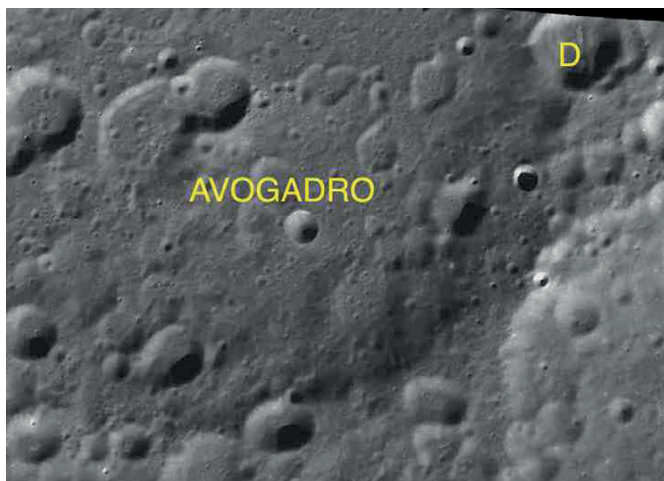
⁴ Az arany pontos atomtömege 196,966 569 (4) g/mol.



Itthon az iskolai tananyagban [URL14] és szakmai folyóiratokban is találkozunk Avogadro nevével [Inzelt, 2011, 2012; Lente, 2019].



Avogadro szobra Vercelliben (Emilio Musso, 1956)



Az Avogadro-kráter a Holdon

Az Avogadro-törvény és az Avogadro-szám története

Az a közlemény, amely Avogadro nevét később ismertté és elismertté tette és a kémia fejlődése szempontjából is nagy jelentőségű volt, a *Journal de Physique*-ben jelent meg 1811-ben. Címe magyarul: *Kísérlet egy olyan módszerre, amellyel meghatározhatók a testek elemi molekuláinak relatív tömegei és ezek kombinációkban megjelenő arányai*. (Piemont ekkor francia uralom alatt állt, ezért írta francia és nem itáliai folyóiratban a cikket.)

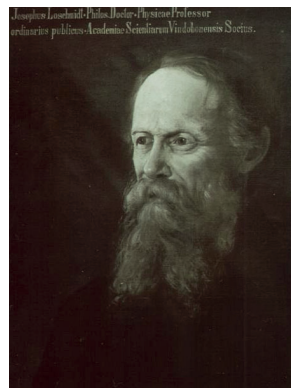
Ebben szerepel az a kijelentés, hogy a különböző minőségű, de azonos térfogatú gázok, azonos hőmérsékleten és nyomáson, azonos számú molekulát tartalmaznak – függetlenül a gáz ké-

miai természetétől. Ez a megállapítása Avogadro-törvényként vált később ismertté és elfogadottá, gyakran tananyagga.

Avogadro ezt az elképzelést azután fejtette ki, hogy Joseph Louis Gay-Lussac 1808-ban publikálta a gázok térfogatának hőmérséklet- és nyomásfüggésére és a reagáló gázok elegyének térfogatarányaira vonatkozó törvényeit. A legnagyobb nehézséget, amelyet Avogadrónak fel kellett oldania, az atom- és molekulafogalom értelmezése körüli bizonytalanság jelentette. Avogadro munkásságának egyik legfontosabb eredménye, hogy egyértelműen megkülönböztette ezeket egymástól, felismerve, hogy az egyszerű részecskék is lehetnek molekulák, és hogy ezek atomokból állnak. Avogadro adta meg elsőként a vízmolekula helyes képletét: H_2O . Nála valójában nem jelenik meg az „atom” szó, mivel a mai atom- és molekulafogalmakat szinte különbség nélkül használta. Úgy vélte, hogy háromféle „molekula” létezik: *molécule intégrante*, *molécule constituante* és *molécule élémentaire*. Ez utóbbi „elemi molekula” a mai atomunk. Nagy figyelmet fordított a tömeg meghatározására, megkülönböztetve azt a súlytól.

Avogadro nem élte meg a németországi Karlsruheban 1860-ban tartott első nemzetközi kémiai kongresszust, ahol Stanislaw Cannizzaro [URL15] olasz kémikus bemutatta Avogadro 1811-es cikkének jelentőségét. Cannizzaro világosan megkülönböztette az atom és a molekula fogalmát, megmutatta, hogy Avogadro elképzelése összhangban van a kémiai reakciók során megfigyelhető tömegarányokkal és a reakcióban részt vevő gázok térfogatával. Ez végül meggyőzte a tudományos közösséget Avogadro elméletének helyességéről, és lefektette a modern atomelmélet alapjait.

Bár Avogadro fogalmazta meg az alapelvet, ő maga nem határozta meg azt az állandót, amely ma a nevét viseli. A kezdeti becslések csak nagyságrendet adtak meg, konkrét számértékének meghatározása folyamatosan, egyre pontosabb mérési módszerekkel történt. Mint említettük, elsőként Johann Josef Loschmidt 1865-ben adott meg értéket az egységnyi térfogatban lévő gázmolekulák számára. Ennek elismeréseként az ő nevét viseli a Loschmidt-szám, ami az ideális gáz egységnyi térfogatában lévő részecskék (molekulák vagy atomok) számát adja meg anyagi minőségtől függetlenül. Értéke $- 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten és 1 atm nyomáson $- 2,686780111 \cdot 10^{25}$ molekula/ m^3 .



Johann Josef Loschmidt

A 20. század elején Jean Perrin független módszerrel is meghatározta a mólszámot: $68,2 \cdot 10^{22}$; $68,8 \cdot 10^{22}$; $65 \cdot 10^{22}$ mol^{-1} értéket kapott, ahogy ez Perrin fizikai Nobel-díjának átadási ünnepségén 1926-ban Carl Wilhelm Oseen, a Nobel-díj bizottság tagja köszöntőjében elhangzott [URL16]. Perrin már 1909-ben javasolta, hogy ezt a számot Avogadro tiszteletére Avogadro-állandónak nevezzék el.

Az *International Bureau of Weights and Measures* (francia néven: *Bureau International des Poids et Mesures*, BIPM) (Nemzetközi Súly- és Mértékegység Hivatal) 1971-ben úgy határozott, hogy az Avogadro-állandót az anyagmennyiség önálló mértékegységének tekinti, hasznos és fontos értéknek, ami ezért az *International System of Units* (SI) – a nemzetközi mértékegységrendszer alapegysége lett [URL17]. A múlt akkor olyan anyagmennyiségként határozták meg, amely annyi elemi egységet tar-



talmaz, ahány atom van 12 gramm szén-12 (^{12}C) izotópban. Ebben a felfogásban N_A értéke a kísérleti pontosság függvénye, s így kicsit változtatható volt.

A *General Conference on Weights and Measures (Conférence générale des poids et mesures, CGPM)* 2018-ban – a BIPM-mel egyetértve – módosított ezen, és úgy döntött, hogy az Avogadro-állandó (N_A) értéke 2019. május 20-tól $6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ lesz. Így a mólt olyan anyagmennyiségként definiálta, amely anyagi minőséghez (így pl. a ^{12}C -hez) nem kötve, attól függetlenül pontosan ennyi alkotórészecskét (pl. atomot, molekulát, iont, elektront) tartalmaz. A számot mint a további kísérletek eredményeihez már nem igazított értéket végelegesként rögzítették [URL18].

Úgy is tekinthetjük ezt, mint egyszersmind Amedeo Avogadro tudománytörténeti jelentőségének rögzítését.



IRODALOM

Avogadro, A.: Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons. *Journal de Physique* (1811) 73, 58–76.

Ciardi, Marco: Iclilio guareschi, Avogadro e la storia della chimica, *Atti e Memorie* (2020) 69–76.

http://assets.unifarco.it/museo/it/Assets/riviste/documenti/RivFarm_Apr_2020_Ciardi.pdf
Inzelt György: Avogadro cikkének 200 éves évfordulójára. *Természet Világa* (2011) 142, 363–365.

Inzelt György: Mély kútforrása a bölcességnek, L'Harmattan, Budapest, 2012.

Lente Gábor: Az atomtömegek rövid története. *Magyar Kémikusok Lapja* (2019) 236–238.

Seshavatharam, U. V. S., Naidu T. G., Lakshminarayana, S.: Avogadro's Number: History, Scientific Role, State-of-the-Art, and Frontier Computational Perspectives. *Current Trends in Mass Communications* (2025) 4(3), 1–10.

<https://www.opastpublishers.com/open-access-articles/avogadros-number-history-scientific-role-state-of-the-art-and-frontier-computational-perspectives.pdf>

URL1: <https://goldbook.iupac.org/terms/view/A00543>

URL2: <https://goldbook.iupac.org/terms/view/Z06746>

URL3: <https://www.bipm.org/en/committees/cg/cgpm/26-2018/resolution-1>

URL4: <https://www.britannica.com/biography/Amedeo-Avogadro>

URL5: Pallas nagy lexikona:

<https://mek.oszk.hu/00000/00060/html/008/pc000892.html#7> (itt Amadeo olvasható)

URL6: https://www.biellaclub.it/_cultura/personaggi/avogadro/

URL7: <https://www.itisavogadro.edu.it/>

URL8: [https://www.ibolli.it/php/em-italia-1008-](https://www.ibolli.it/php/em-italia-1008-Ritratto%20di%20Amedeo%20Avogadro.php)

[Ritratto%20di%20Amedeo%20Avogadro.php](https://www.ibolli.it/php/em-italia-1008-Ritratto%20di%20Amedeo%20Avogadro.php)

URL9: <https://exhibits.museogalileo.it/medals/medal/CelebrazioniAmedeoAvogadro1956.html>

URL10: <http://himetop.wikidot.com/amedeo-avogadro-s-bust>

URL11: <https://www.cnr.it/it/news/13546/medaglia-amedeo-avogadro-aperto-il-bando>

URL12: <https://www.der-mond.de/mondkarte/formation/mondkrater/avogadro/>

URL13: <https://www.spacerefence.org/asteroid/I2294-avogadro-1991-pq2>

URL14: https://www.nkp.hu/tankonyv/kemia_9_nat2020/lecke_01_004

URL15: <https://vegyjelek.hu/stanislaio-cannizzaro-ki-volt-o-es-hogyan-formalta-a-kemiat/>

URL16: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1926/ceremony-speech/>

URL17: <https://www.bipm.org/en/measurement-units>

URL18: <https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/SI-Brochure-9-EN.pdf>

Avogadro az „elemi molekulák” relatív tömegének meghatározásáról

Gay-Lussac úr egy érdekes tanulmányában megmutatta, hogy a gázok mindig egyszerű térfogatarányokban egyesülnek, és amikor az egyesülés terméke gáz, annak térfogata igen egyszerűen függ alkotói térfogatától. Úgy tűnik mármost, hogy a vegyületekben szereplő anyagok kvantitatív aránya csak a kombinálódó molekulák számarányától, valamint a keletkező összetett molekulák számától függ. A gáz alakú anyagok térfogatai, beláthatóan, igen egyszerű kapcsolatban állanak az őket alkotó egyszerű vagy összetett molekulák számával. Az első, ezzel kapcsolatban felvetődő és szemmel láthatóan az egyetlen elfogadható hipotézis, miszerint a molekulák [*molécule intégrante*] száma bármely gázban azonos térfogatban mindig azonos és mindig arányos a térfogattal. Ha ugyanis azt tételeznénk fel, hogy a molekulák száma

tív tömegének meghatározására, valamint ezen molekulák kombinációkbani relatív számának megállapítására, mivel a molekulák tömegének aránya azonos hőmérsékleten és nyomáson megegyezik a különböző gázok sűrűségének arányával, és valamely vegyület molekuláinak relatív száma egyből adódik az alkotó gázok térfogatarányából. Az 1,1359 és a 0,07321 számok például az oxigén- és a hidrogéngáz sűrűségét fejezik ki, levegőre mint egy-egyegre vonatkoztatva, a két szám aránya következésképpen megadja a két gáz tömegének arányát azonos térfogatban. Elméletünk szerint ez az arány egyben a molekulák tömegének arányát is kifejezi. Így az oxigénmolekulák tömege mintegy 15-szöröse a hidrogénmolekulák tömegének, vagy pontosabban az arány 15,074:1. Hasonlóan a nitrogénmolekula tömege 0,96913:0,07321, azaz 13:1 arányban áll a hidrogénéhez, így 13-szorosa, pontosabban 13,238-szerese. Másrésről, miután tudjuk, hogy a hidrogén és oxigén térfogatainak aránya a víz képződéskor 2:1, következik, hogy a víz minden molekulája 1 molekula oxigén és 2 molekula hidrogén egyesülésével keletkezik. Hasonlóan okoskodva: azokból a térfogatarányokból kiindulva, amelyeket Gay-Lussac úr állapított meg az ammónia, a nitrogén-oxid, a nitrózus oxid és a salétromsav elemeiből való képződésekor,⁵ az ammónia egy molekula nitrogén és három molekula hidrogén egyesüléséből származik, a nitrogén-oxid egy molekula oxigén és két molekula nitrogén, a nitrózus oxid egy molekula nitrogén és egy molekula oxigén, a salétromsav egy molekula nitrogén és két molekula oxigén egyesülésekor keletkezik.



Amedeo Avogadro és Joseph Louis Gay-Lussac

egy adott térfogatban különböző gázok esetén különböző, aligha állíthatnánk, hogy a molekulák távolságát szabályozó törvény minden esetben olyan egyszerű arányokat ad, mint amilyeneket az imént vázolt tények a térfogat és a molekulák számának összefüggéséről élénk tárnak. ...

Ebből a hipotézisből kiindulva látható, hogy igen kényelmes meghatározási mód adódik gázállapotú anyagok molekulái rela-

Az Irodalomban megadott eredeti tanulmány és W. C. Dampier-Whetham–M. Dampier-Whetham (szerk.): *Cambridge Readings in the Literature of Science* alapján Szepesváry Pálné fordítása (<https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/olvaso/histchem/avogadro.html>)

⁵ A megadott összetételből kiderül, hogy a mai szóhasználat szerint a nitrogén-oxid a dinitrogén-oxidnak, a nitrózus oxid a nitrogén-monoxidnak, a salétromsav a nitrogéndioxidnak felel meg.