

## STUDIUL EFECTELOR TERMICE DE DIZOLVARE ȘI NEUTRALIZARE: APLICABILITATEA PENTRU PREDAREA ȘI STUDIAREA CHIMIEI

Iulia BAERLE, profesoară de chimie, grad didactic superior

<https://orcid.org/0009-0009-1460-0932>

Adrian BAERLE, elevul clasei a XII-a

<https://orcid.org/0009-0006-4918-9803>

Instituția Publică „Liceul Teoretic Principesa Natalia Dadiani”

**Rezumat.** A fost confirmată posibilitatea utilizării și veridicitatea datelor, obținute cu senzorul autonom de temperatura „PASCO wireless” și softul „SPARKvue”. Curbele termocinetice explică fenomenele din soluțiile apoase, care sunt importante pentru organismele vii și pentru existența ecosistemelor: hidratare, formare și distrugere a legăturilor de hidrogen, diluare etc. Metoda de asemenea este foarte utilă și ilustrativă pentru demonstrarea veridicității legii Hess. Metoda este aplicabilă în scopuri didactice și de cercetare.

**Cuvinte cheie:** curbe termocinetice, entalpia molară de formare, legea Hess, senzor autonom de temperatura.

**Abstract.** The possibility of use and the veracity of the data, obtained with the wireless temperature sensor and the related software, were confirmed. Thermo-kinetic curves explain the phenomena in aqueous solutions, which are important for living organisms and for the existence of ecosystems: hydration, formation and destruction of hydrogen bonds, dilution, etc. The method is very useful and illustrative for demonstrating the veracity of Hess's Law. The method is applicable for teaching and researches in chemistry, biology and physics.

**Key words:** Hess's law, molar enthalpy of formation, thermo-kinetic curves, wireless temperature sensor.

### Introducere

În lucrările precedente au fost aduse argumentele pentru necesitatea utilizării graficelor și calculelor termodinamice în predarea și studierea chimiei, aceste metode având un potențial curricular și trans-disciplinar puternic [1, 2]. Cunoașterea noțiunilor fundamentale ale termodinamicii asigură utilizarea corectă a noțiunilor de sistem, proces, echilibru etc, explică cauzele și direcția proceselor chimice, etc. Studiarea efectelor termice ale proceselor „pur” chimice este importantă pentru înțelegerea mecanismelor proceselor din natură. Orice proces chimic, care are loc în organismele vii, în ecosisteme sau pe scară industrială, respectă exact aceleași legi termodinamice, că și procesul chimic similar, realizat *in vitro* [3]. Totodată, s-a demonstrat, că un sistem termochimic este o parte a organismelor vii, dar hotarele sistemului termochimic și a organismului viu se intersectează, dar nu coincid [4]. Fiecare ecuație termochimică constă din partea atomică și partea energetică. În contextul evenimentelor și schimbărilor globale, cunoașterea efectelor energetice ale proceselor chimice și a consecințelor lor devine din ce în ce mai importantă. Toate cele menționate ne-au motivat să realizăm acest studiu.

**Scopul lucrării** constă în verificarea aplicabilității didactice a metodei de înregistrare și analiză a curbelor termocinetice pentru predarea și studierea chimiei și disciplinelor conexe.

### Metode și materiale aplicate

**Calitatea și nomenclatura reactivilor.** În studiu au fost utilizate reactivi de calitate „puriss” (> 98,5%) și „purum p.a.” (> 99%): clorura de potasiu (KCl), clorura de calciu anhidră (CaCl<sub>2</sub>), hidroxid de sodiu microgranulat (NaOH), hidroxid de potasiu în forma de perle (KOH), uree granule (NH<sub>2</sub>-CO-NH<sub>2</sub>), bicarbonat de sodiu (NaHCO<sub>3</sub>), sulfat de cupru pentahidratat (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O), acid clorhidric concentrat (HCl 38%).

**Măsurarea variației temperaturii în procesele de dizolvare.** A fost utilizat senzorul autonom „PASCO wireless temperature”, conectat la softul „PASCO SPARKvue”. Analizei au fost supuse probe a câte 0,02 mol de substanțe analizate, cântărite cu precizie Δm = ± 0,01 g. Probele cântărite au fost dizolvate în volume de 100 mL apă distilată în pahar Berzelius de 150 mL. A fost urmărită variația temperaturii probei pe parcursul dizolvării. Drept criterii de finisare a procesului au fost folosite dizolvarea completă și stabilirea indicațiilor constante ale senzorului.

**Măsurarea variației temperaturii în reacțiile de neutralizare.** Variațiile de temperatură în cadrul proceselor de sedimentare și neutralizare au fost măsurate prin scufundarea senzorului, echilibrarea temperaturii, amestecarea rapidă a cantităților echimolare (0,1 mol de substanțe reactante) în pahar Berzelius cu volum de 400 mL.

**Determinarea efectelor termice și entalpiei proceselor.** După înregistrarea graficilor t = f(τ), din ele au fost determinate valorile ΔT, K, care sunt egale numeric cu Δt, °C. Cantitatea de căldură degajată a fost calculată prin formulă [5]:

$$Q = \Delta T \cdot (m + m_a) \cdot C_p$$

unde Q – cantitatea de căldură degajată (+) ori absorbită (-), J;

ΔT – variația temperaturii, K;

m – masa probei de substanță, g;

m<sub>a</sub> – masa apei distilate, în care a fost dizolvată probă, g;

C<sub>p</sub> – capacitatea termică a apei și a soluțiilor diluate, 4,186 J · g<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>;

Entalpiile de dizolvare au fost calculate folosind formula [5]:

$$\Delta H_{\text{exp}} = - Q / \nu$$

unde ΔH<sub>exp</sub> – entalpia molară experimentală de dizolvare, J · mol<sup>-1</sup>;

Q – cantitatea de căldură degajată (+) ori absorbită (-), J;

ν – cantitatea de substanță, mol;

Eroarea relativă a determinării, ε, %, a fost apreciată după relație:

$$\varepsilon = \frac{|\Delta H_{\text{teor}} - \Delta H_{\text{exp}}|}{\Delta H_{\text{teor}}} \cdot 100\%$$

unde  $\Delta H_{\text{teor}}$  este valoarea teoretică a entalpiei procesului, determinată direct din surse bibliografice sau calculată folosind legea Hess

### Rezultate obținute

Clorură de potasiu reprezintă o substanță aproape non-higroscopică, care se utilizează ca substanța-standard pentru calibrarea calorimetrelor. Pe curbă termocinetică experimentală se observă un fragment, care corespunde cu suprarăcirea locală, cauzată de formarea soluției concentrate de KCl la fundul vasului. Efectul „dispare” la omogenizarea soluției, dar temperatura finală reală, care corespunde stării dizolvate de KCl, se determină din analiza liniilor de trend a graficului (Figura 1).

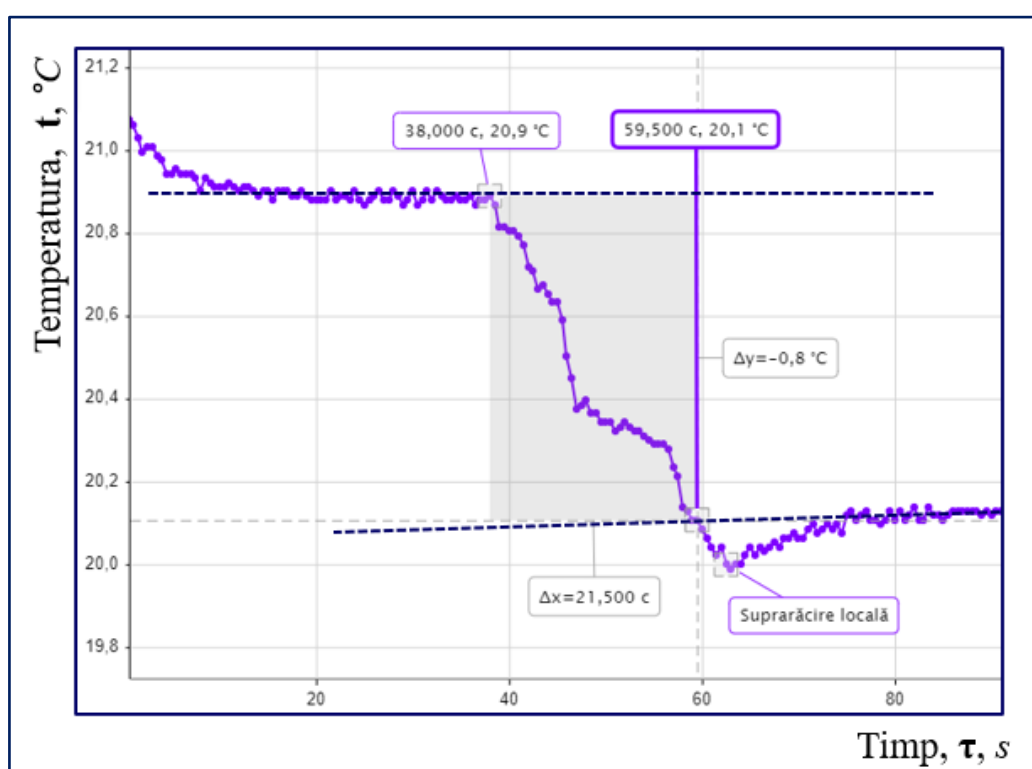


Figura 1. Cinetica dizolvării 0,02 moli KCl în 100 g de apă,  $t = f(\tau)$

Din analiza Figurii 1 au fost obținute următoarele valori:  $Q_{\text{exp.}} = -339,87 J$ ;  $\Delta H_{\text{exp}} = +16994 J \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $\Delta H_{\text{teor}} = +17220 J \cdot \text{mol}^{-1}$ . Valoarea  $\epsilon$ , egală cu 1,4 %, este foarte mică, și demonstrează, că experimentul, efectuat în condiții de laborator școlar, poate să ofere informații științifice plauzibile.

La dizolvarea clorurii de calciu anhidre,  $\text{CaCl}_2$ , spre deosebire de cazul precedent, se manifestă un efect exotermic puternic (Figura 2). Acesta poate fi explicat prin formarea ionilor de  $\text{Ca}^{2+}$  în starea hidratată. După scoaterea temporară a senzorului din sistemul studiat, și întoarcerea lui, indicațiile temperaturii își revin la trendul corect liniar.

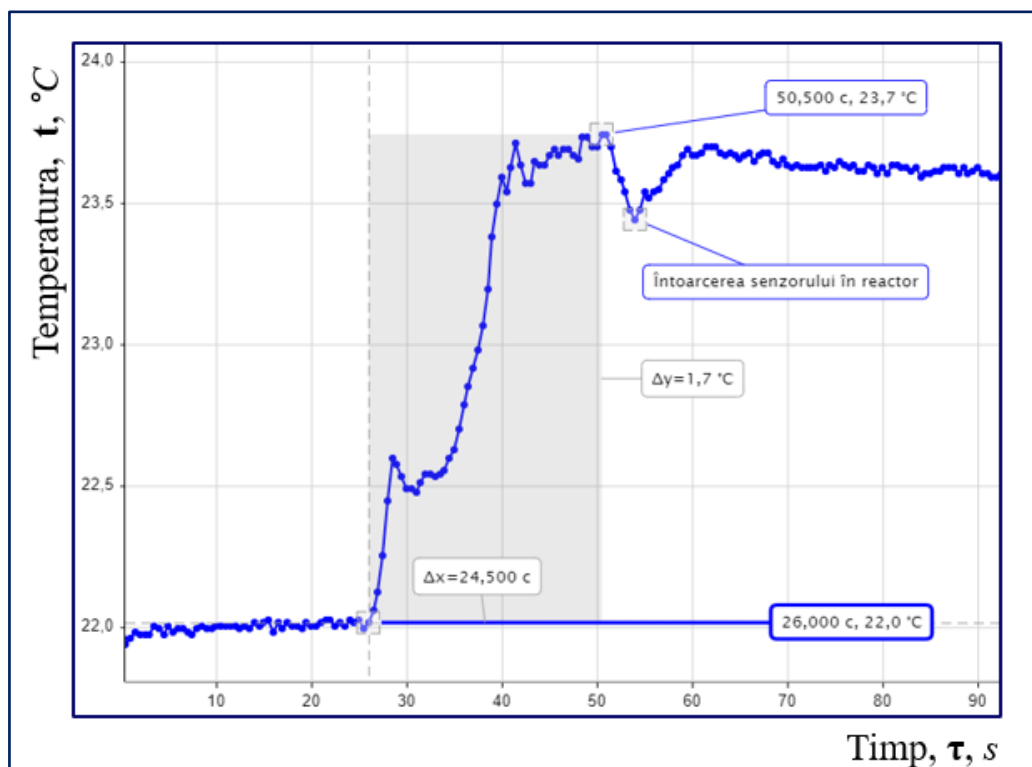


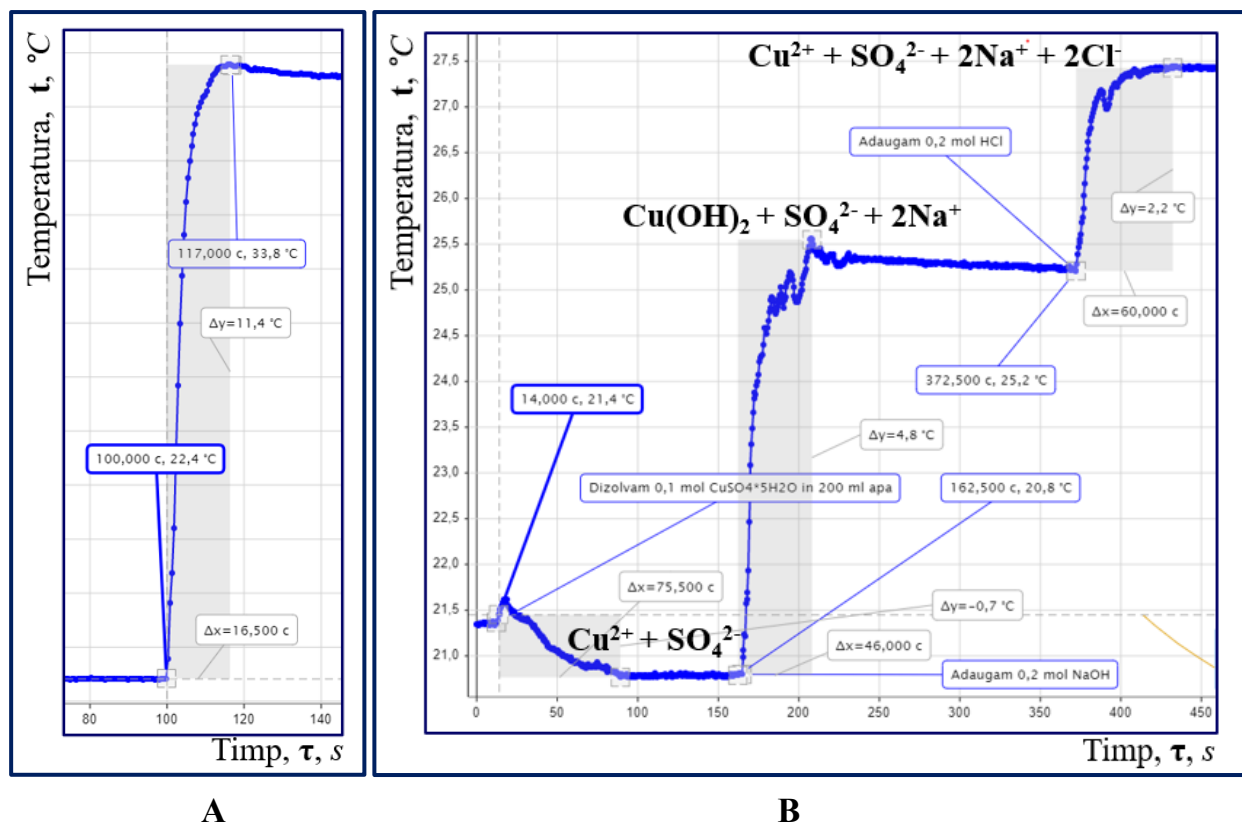
Figura 2. Cinetica dizolvării 0,02 *moli*  $\text{CaCl}_2$  în 100 g de apă,  $t = f(\tau)$

Figurile 1 și 2 demonstrează, că pentru prelucrarea corectă a datelor sunt necesare nu doar datele directe de schimbare a temperaturii, dar și liniile suplimentare ale trendului, care reflectă cinetica variației temperaturii sistemului până și după procesul studiat.

În cadrul unui experiment demonstrativ sau de cercetare poate să fie realizată o serie de procese consecutive (Figura 3). Astfel, din cristalohidratul solid  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  a fost obținută soluție de sulfat de cupru:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 5\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ . Procesul se caracterizează prin efectul endotermic slab. Prin adăugarea cantității echivalente a  $\text{NaOH}$ , din această soluție a fost sedimentat hidroxidul de cupru, cu efectul exotermic puternic:  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$ . Apoi sedimentul a fost dizolvat în cantitatea echivalentă de acid clorhidric.

Analiza Figurii 3.A demonstrează, că neutralizarea  $\text{NaOH}$  cu  $\text{HCl}$  are loc repede într-o singură etapă. În cazul, prezentat în Figura 3.B, de la punctul de jos  $\{\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}\}$  până la punctul de sus  $\{\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^-\}$  de fapt au loc două etape de neutralizare. Cantitățile sumare de căldură  $Q$ , degajată în cazurile **A** și **B**, sunt egale respectiv cu 9544 J și 10444 J. Valorile  $\Delta H_{\text{exp}}(\mathbf{A})$  și  $\Delta H_{\text{exp}}(\mathbf{B})$  sunt egale cu  $-47720$  J și  $-52220$  J, în timp ce valoarea teoretică este de  $-57000$  J. Abaterile de la valoarea teoretică,  $\varepsilon(\mathbf{A})$  și  $\varepsilon(\mathbf{B})$ , sunt egale cu 17 % și 8,4 %. Exemplu demonstrează elocvent veridicitatea legii Hess, fiind pentru elevi o dovada convingătoare și frumoasă a respectării Principiului I al Termodinamicii.

Figurile 2 și 3 descriu procesele, în care un aport important are procesul de hidratare, iar acesta la rândul său este strâns legat cu regrupările legăturilor de hidrogen. Ponderea legăturilor de hidrogen scade dramatic în mediul bazic, și crește la micșorarea pH al mediului [6], ce se reflectă asupra stării biomoleculelor, inclusiv a celulozei [7]. Astfel, măsurarea efectelor termice ale proceselor chimice reprezintă un instrument de cunoaștere a chimiei și a disciplinelor conexe, în special biologiei.



**Figura 3. Curbele termocinetice ale proceselor de neutralizare: A – neutralizarea 100 mL soluție NaOH 2M cu 100 mL soluție HCl 2M; B – neutralizarea în două trepte, prin formarea 0,1 moli Cu(OH)<sub>2</sub>, urmată de dizolvarea lui în 0,2 moli HCl**

### Concluzii

Curbele termocinetice obținute reflectă adecvat valorile efectelor termice ale proceselor chimice. Abaterile de la valorile teoretice se datorează capacității termice ai instalației de măsurare și realizării experiențelor în sisteme concentrate. Se recomandă utilizarea experiențelor demonstrative și cercetărilor individuale în sisteme cu concentrații nu mai mult de 0,01 mol/L, utilizarea unui calorimetru, confecționat din materiale ușoare (PP, ori LDPE) Senzorul autonom de temperatura „PASCO Wireless” reprezintă un instrument eficient pentru studierea proprietăților soluțiilor, disociației electrolitice, echilibrului, vitezei, dar și ajută profesorului în formarea la elevi a modului științific argumentat de gândire. Înregistrarea curbelor termocinetice poate fi folosită pentru

demonstrarea, interpretarea și valorificarea diferitor procese biologice, ecologice și industriale (formarea legăturii de hidrogen, fenomene de hidratare, efectele de seră etc). Se cere reintroducerea în curriculum a noțiunilor de entalpie și entropie, astfel ca elevii să facă față provocărilor și trendurilor secolului XXI.

### **Bibliografie**

1. BAERLE, I.; BAERLE, A. Utilizarea graficelor pentru rezolvarea problemelor de calcul la chimie. În: *Materialele Conferinței Științifice Republicane „Chimia secolului XXI”*, Bălți, 2016, p. 13-18. ISBN 978-9975-3145-1-0.
2. BAERLE, A.; BAERLE, I. The Methodological Aspects of Teaching Thermodynamics: From Civic Education to New Understanding of Carbon Footprint. În: *The 6-th Int. Conf. Ecol. and Env. Chem.*, 2017, Chișinău. Book of Abstracts, pp. 206. ISBN 978-9975-51-810-9.
3. HENRY, M. *Thermodynamics of Life*. Substantia, 2021, 5(1), pp. 43-71.
4. BAERLE, A. *Prolongarea funcționalității compușilor biologic activi în compozițiile alimentare*. Chișinău, Tehnica-UTM, 2023. 177 p.
5. ATKINS, P.; PAULA, J. *Physical Chemistry. 8-th Edition*. Oxford University Press, 2006. 1053 p.
6. ANKU, G.; MIHIR, S.; KHORSED, A. et al. Role of water structure in alkaline water electrolysis. În: *iScience*, 2022, Volume 25 (8), 104835.
7. WOHLERT, M.; BENSELFELT, T.; WÅGBERG, L. et al. Cellulose and the role of hydrogen bonds: not in charge of everything. În: *Cellulose*, 2022 (29), pp. 1–23.