



**Center for
Science Education
and Training**

<http://education.inflpr.ro>

Proiect susținut prin programul Parteneri pentru Educație

ECHILIBRUL TERMIC

**Mihaela Garabet
Ion Neacsu**

Liceul Teoretic "Grigore Moisil" Bucuresti

© CSET - 2008

Microsoft | Partners in Learning



Reteaua educationala
Hands-on Science - Romania
Instruire prin experiment



1. Câteva elemente de termodinamică...

Vom lucra în acest capitol cu **sisteme termodinamice**. Ele reprezintă sisteme fizice delimitate de mediul exterior printr-o suprafață reală sau imaginară, realizate din unul sau mai multe corpuri macroscopice care conțin o cantitate finită de substanță, alcătuită dintr-un număr mare de particule elementare constituente (molecule, atomi, electroni liberi, etc.). Menționăm ca exemple de sisteme termodinamice: orice corp solid, orice lichid aflat într-un vas, orice gaz aflat într-o incintă, orice amestec solid, lichid, gazos sau mixt, organisme biologice etc.

Starea unui sistem termodinamic este constituită din toți parametrii de stare la un moment dat. Când sistemul nu evoluează, sistemul termodinamic se află în *stare* staționară, iar când evoluează se află în stare nestaționară.

Fenomenul termic este, în general, orice fenomen fizic legat de mișcarea complet dezordonată care se manifestă la nivelul moleculelor. Exemple de fenomene termice: variația proprietăților fizice ale substanței la încălzirea sau la răcirea ei; schimbul de căldură între corpurile încălzite diferit; transformarea căldurii (obținută prin arderea combustibililor) în lucru mecanic și invers, a lucrului mecanic în căldură; trecerea unui corp dintr-o stare de agregare în alta.

Postulatul fundamental al termodinamicii. *Un sistem termodinamic izolat de mediul exterior și aflat într-o stare de neechilibru va evolua spre o stare de echilibru termodinamic, în care va ajunge după un interval de timp și pe care nu o va părăsi de la sine.*

2. Mărimi energetice specifice sistemelor termodinamice

În general, corpurile se află în permanentă interacțiune cu mediul exterior, această interacțiune manifestându-se printr-un schimb de energie. Dacă sistemul interacționează mecanic cu mediul înconjurător, starea de echilibru termodinamic a sistemului nu se modifică, forțele exterioare realizând doar o deplasare mecanică a întregului sistem; Atunci când sistemul interacționează termic cu mediul exterior, el părăsește starea de echilibru termodinamic, începând să efectueze o transformare în care anumiți parametri de stare ce caracterizează dimensiunile sistemului (cum ar fi volumul gazului) variază în timp. Acesta este cazul în care are loc o variație a energiei interne a sistemului.

Există trei moduri posibile de variație a energiei interne a unui corp:

- Ⓒ prin efectuare de lucru mecanic;
- Ⓒ prin schimb de căldură;
- Ⓒ prin schimb de substanță între corp și mediu.



Energia internă a unui sistem termodinamic U , este o mărime fizică scalară, *de stare* a unui sistem termodinamic. Particulele constitutive ale unei substanțe se află într-o continuă mișcare de agitație termică. La un moment dat, fiecare particulă posedă o energie cinetică dată de natura particulei și de conjunctura în care se află cu particulele vecine.

Căldura Q este o mărime fizică scalară, *de proces*, care măsoară transferul de energie prin contact termic între sistemele termodinamice, în procesele care au loc între acestea. Căldura se măsoară, în S.I., în jouli (J), ca și energia.

3. Despre echilibrul termic

Contactul între un sistem termodinamic și un alt sistem din mediul exterior lui se realizează atunci când sistemul dat nu mai este izolat de mediul exterior, fiind posibile interacțiuni cu celălalt sistem. Contactul dintre cele două sisteme poate fi:

- **mecanic**, atunci când schimbul de energie dintre sisteme se face prin lucrul mecanic realizat de forțele efectuate de unul dintre sisteme asupra celuilalt;
- **termic**, atunci când schimbul de energie dintre sisteme se face exclusiv prin căldură;
- **prin schimb de substanță** între cele două sisteme.

Echilibrul termic. Realizând un contact termic între două corpuri (unul cald și altul rece), fără schimb de energie prin efectuare de lucru mecanic sau schimb de substanță între ele, acestea ajung spontan și ireversibil, după un interval de timp, conform postulatului fundamental al termodinamicii, să aibă aceeași stare de încălzire. În această situație, corpurile nu mai schimbă între ele energie sub formă de căldură și se spune că se află în echilibru termic.

Principiul zero al termodinamicii: *Două sisteme termodinamice, fiecare aflat în echilibru termic cu al treilea, sunt și ele în echilibru termic. Acest principiu, determinat pe cale experimentală, se numește și principiul tranzitivității echilibrului termic.*

Temperatura empirică. Fiecărei stări de încălzire a unui sistem termodinamic i se asociază un parametru numit temperatura empirică a sistemului. Pentru un sistem dat, temperatura are valori egale pentru stările de echilibru termodinamic care sunt între ele în echilibru termic și valori diferite pentru stările de echilibru termodinamic care nu sunt în relație de echilibru termic. Măsurarea temperaturii, conform unei scări definite, se realizează cu anumite dispozitive denumite *termometre*.



- **Scara Celsius** cuantificată în grade Celsius ($^{\circ}\text{C}$) este o scară centigradă convențională și are ca temperaturi de referință, prin convenție, valoarea 0°C , corespunzător situației când gheața pură se topește la presiune normală și 100°C , corespunzător situației când apa pură fierbe la presiune normală.
- **Scara Kelvin**, adoptată în S.I., are fixat punctul zero al scalei la temperatura $-273,15^{\circ}\text{C}$. Temperatura absolută, egală cu zero ($T_0=0\text{K}$), corespunde stării materiei în care ar înceta mișcarea de agitație, termică a moleculelor. Unitatea de temperatură adică Kelvin-ul, are aceeași mărime ca și gradul de pe scara Celsius: $1\text{K}=1^{\circ}\text{C}$, iar $T(\text{K})=t(^{\circ}\text{C})+273,15$
- **Scara Fahrenheit** fixează aceleași stări de referință ca și scara Celsius, dar le atribuie alte valori: 32°F , corespunzător situației când gheața pură se topește la presiune normală, și 212°F , corespunzător situației când apa pură fierbe la presiune normală. $t^{\circ}\text{F}=32+1,8t(^{\circ}\text{C})$.



4. Studiul clasic

Pentru studiul în laborator clasic al echilibrului termic sunt necesare termometre, instrumente cu citire directă a valorilor temperaturii sistemelor cu care ele sunt în echilibru termic. Printre tipurile de termometre utilizabile enumerăm:



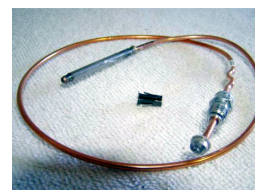
Termometrul clasic cu coloană de lichid este construit dintr-un corp termometric în care se află mercur, toluen sau alcool, continuat de un tub capilar gradat după o scară de temperatură. Lungimea coloanei de lichid crește linear cu temperatura prin fenomenul de dilatare a lichidului.



Termometrul metalic utilizează o lamă bimetalică formată din două lame având aceeași formă geometrică, solidare între ele și confecționate din două metale diferite și care suferă dilatări diferite la încălzire. Acesta produce curbarea lamei în funcție de temperatura la care se află dispozitivul, tradusă în mișcarea unui ac indicator în fața unei scale gradate.



Termometrul cu termocuplu utilizează variația tensiunii electrice, care apare între sudurile a două metale



diferite, când una dintre suduri este la o temperatură mai ridicată decât cealaltă. Această tensiune este măsurată de un milivoltmetru, etalonat prin corespondență într-o scară de temperatură.



Termometrul realizat cu dispozitive electronice

utilizează sonde cu structuri semiconductoare care-și modifică rezistența electrică la încălzire. Variația intensității curentului care trece prin acestea este măsurat de un miliampermetru care are scara gradată în unități de temperatură.



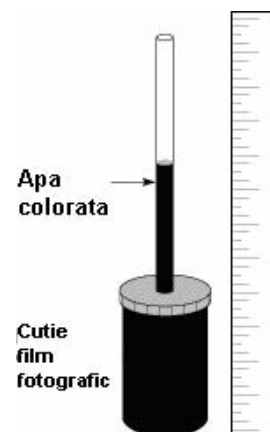
Termometrele din laboratorul de fizică pot avea diferite forme adecvate scopului pentru care servesc: măsurarea temperaturii în încăpere, în vase cu diametre diferite, în incinte cu forme speciale. Principiul care stă la baza funcționării lor este în schimb același: dilatarea aparentă a unui lichid termometric care este de regulă alcool sau mercur. Majoritatea termometrelor sunt etalonate în scara Celsius care are ca puncte de referință două stări ușor reproductibile: starea triplă a apei căreia i se atribuie în mod convențional valoarea 0° și punctul de fierbere a apei pure cu valoarea 100° . Un grad Celsius reprezintă a suta parte din intervalul cuprins între 0° - 100° C. Clasa de precizie a termometrului este dată de mărimea celui mai mic interval pe care îl poate măsura, practic de diferența de temperatură corespunzătoare ridicării lichidului termometric între două diviziuni alăturate.



Încercați singuri! *Construiți-vă singuri un termometru*

Materialele necesare sunt: un pai de băut rigid și transparent, o cutie de film fotografic cu capac, apă, colorant alimentar, silicon sau plastilină, hârtie milimetrică (riglă), șurubelniță (sau altceva cu care să se poată găuri capacul).

Pentru început faceți o gaură în centrul capacului, suficient de mare, pentru ca paiul să poată fi introdus prin ea. Apoi introduceți paiul. Capătul paiului trebuie să ajungă până imediat deasupra fundului cutiei, atunci când capacul este pus. Umpleți cutia cu apă (cam $\frac{3}{4}$ din volum). Adăugați o picătură sau două de colorant. Atașați capacul cu pai la cutie. Căutați o modalitate de a trage apa din cutie cam până la jumătatea paiului (cu ajutorul



unei seringi). Apa din pai trebuie să rămână așa când capacul se fixează ermetic de cutie. Închideți ermetic dispozitivul prin astuparea găurii pe unde s-a introdus paiul și a marginilor capacului. Căutați un loc potrivit pentru termometru și fixați hârtia milimetrică (rigla) de perete, sau pe un alt suport, făcând astfel o scală pentru termometru. Înregistrați temperatura prin marcarea indicației de pe scală. Cantitatea de aer și apa din interiorul cutiei și din jumătatea de jos a paiului nu se schimbă, dar se poate dilata sau contracta.

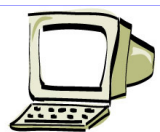
Ce se va întâmpla cu nivelul apei din pai atunci când temperatura crește?

Cum influențează starea vremii funcționarea termometrului?

Cu cât este mai mare presiunea aerului din exteriorul cutiei, cu atât acesta va împinge mai puternic asupra cutiei, forțând mai multă apă în sus în pai.

Cum afectează aceasta etalonarea termometrului?

Imaginați-vă o modalitate de a minimiza erorile datorate schimbărilor de volum cauzate de presiunea atmosferică.



5. Studiu virtual

Accesați site-ul aflat la adresa: <http://jersey.uoregon.edu/vlab/Thermodynamics/index.html>

Aici puteți simula procesul de difuzie în gaze cu temperaturi diferite, în timpul amestecului lor. (figura 5.1). Veți putea urmări stabilirea echilibrului termic cu ajutorul a două termometre plasate în cele două incinte. Urmăriți indicațiile celor 7 experimente propuse!



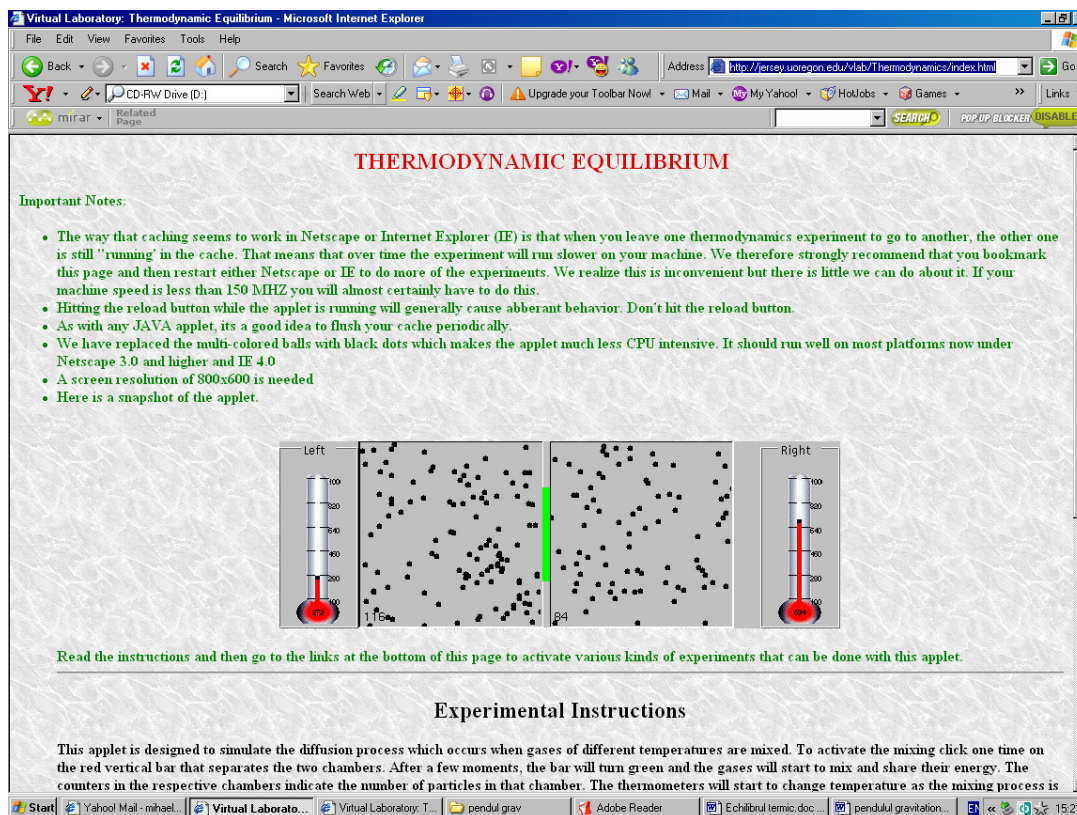


Figura 5.1



Cum apreciați mișcarea de agitație termică a moleculelor din cele două gaze atunci când ele se află la echilibru?



6. Studiul unor transformări de fază cu o sondă de temperatură Vernier

Pentru început vom defini câteva noțiuni!

Faza reprezintă o porțiune dintr-un sistem care prezintă aceeași compoziție și aceleași proprietăți fizice în toate punctele sale. Este de fapt o parte omogenă a unui sistem termodinamic, delimitată printr-o suprafață bine precizată de celelalte părți ale sistemului. O fază poate fi formată dintr-un singur tip de molecule (vapori de lichid, un gaz, etc.) sau din mai multe tipuri de molecule dacă amestecul este omogen până la nivel molecular (soluție nesaturată de zahăr în apă, etc.).

Faza nu trebuie confundată cu **starea de agregare**. De exemplu, fierul se poate găsi în diferite faze solide, în funcție de structura cristalină. Carbonul are două faze distincte, diamantul și



grafitul, care au proprietăți deosebite.

Transformarea de fază sau **tranziția de fază** reprezintă trecerea substanțelor dintr-o fază în alta. Trecerea dintr-o stare de agregare în alta este o transformare de fază *de speța I*, din care fac parte transformările care se produc la o anumită temperatură, cu absorbție sau cedare de căldură numită *căldură latentă*. Din acest tip fac parte transformările: **vaporizarea-condensarea**, **topirea-solidificarea**, **sublimarea-desublimarea**, etc.

Trecerea unei substanțe din faza lichidă în faza de vapori se numește **vaporizare**. Există mai multe modalități de vaporizare a unui lichid în funcție de condițiile în care se face experimentul: *vaporizare în vid, în atmosferă gazoasă, la suprafața lichidului și vaporizarea în toată masa lichidului*.

Cantitatea de căldură necesară pentru a vaporiza la temperatură constantă o unitate de masă dintr-un lichid se numește căldură latentă specifică de vaporizare:

$$\lambda_v = \frac{Q}{m}$$

În timpul fierberii unui lichid temperatura rămâne constantă, dacă presiunea nu se modifică!

Procesul de trecere a unui corp din fază solidă în fază lichidă se numește **topire**. Procesul invers se numește **solidificare**.

Din punct de vedere a structurii lor, corpurile se împart în două categorii: amorfe și cristaline. Topirea corpurilor amorfe (sticla, ceara, smoala) nu are loc la o temperatură constantă, ci pe un interval de temperatură. Mai întâi, corpul se înmoaie și apoi devine o pastă vâscoasă, pentru ca ulterior, la o temperatură mai mare, să devină lichid cu vâscozitate mică.

În timpul topirii corpurilor cristaline temperatura rămâne constantă, dacă presiunea nu se modifică!

Ne propunem acum să monitorizăm un amestec de apă cu cuburi de gheață cu ajutorul unei sonde de temperatură conectată cu computerul prin portul USB. Vom verifica întâi dacă temperatura rămâne constantă în timpul topirii gheții, apoi vom începe încălzirea pentru a ajunge la fierberea apei rezultate. Aici vom verifica dacă temperatura rămâne constantă în timpul fierberii apei.

Am obținut semnalul din figura 6.1



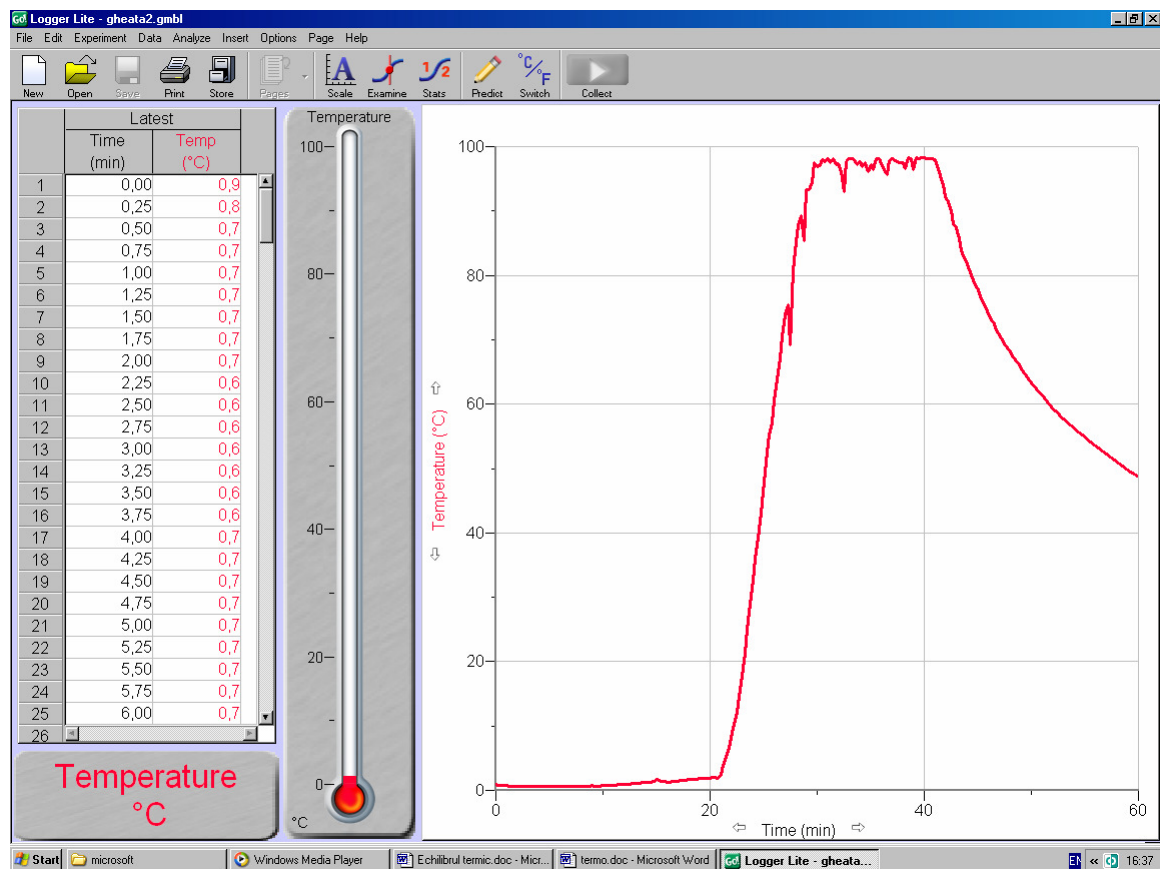


Figura 6.1

Urmează să prelucrați singuri semnalul generat de sonda de temperatură utilizând Microsoft Excel. Noi am transferat valorile pentru timp și temperatură obținute cu acest senzor într-un fișier xls. Accesați acum fișierul [TOPIRE GHEATA.xls](#) și efectuați următoarele:

- ✓ Reprezentați grafic **temperatura** exprimat în $^{\circ}\text{C}$ în funcție de **timpul** exprimat în **min**.
- ✓ Apreciați ce se întâmplă cu temperatura în timpul topirii gheții!
- ✓ Apreciați ce se întâmplă cu temperatura în timpul fierberii apei!
- ✓ Calculați rata de încălzire a sistemului utilizat!



Cum explicați abaterea temperaturii de topire a gheții de la 0°C ? Cum explicați abaterea temperaturii de fierbere a apei de la 100°C ?

Vom relua experimentul înlocuind amestecul de apă cu gheață cu naftalină! Cristalele de naftalină au fost introduse într-o eprubetă. Sonda de temperatură s-a strecurat printre ele și astfel echipată, eprubeta a fost introdusă într-un încălzitor cu apă. Am obținut semnalul din figura 6.2.



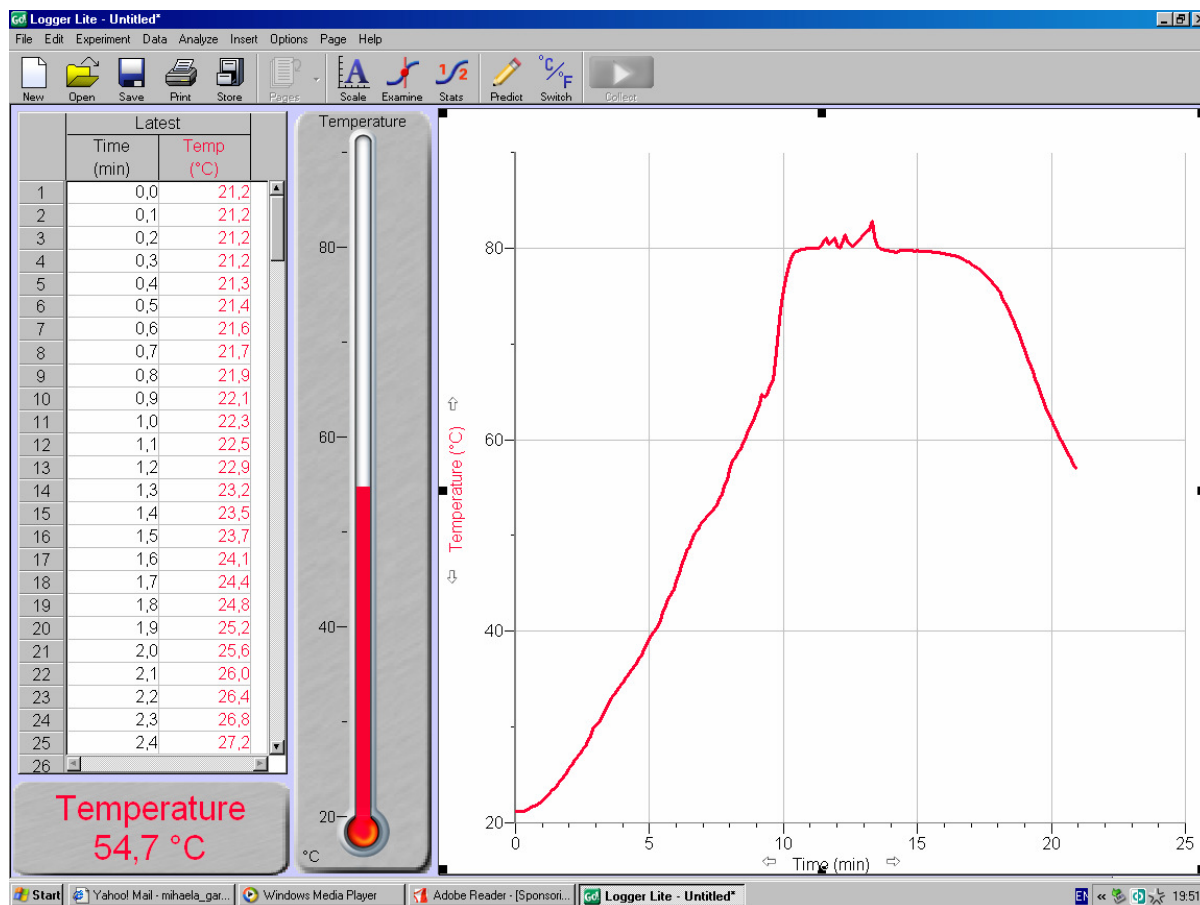


Figura 6.2

Urmează să prelucrați singuri semnalul generat de sonda de temperatură utilizând Microsoft Excel. Noi am transferat valorile pentru timp și temperatură obținute cu acest senzor într-un fișier xls. Accesați acum fișierul [TOPIRE NAFTALINA.xls](#) și efectuați următoarele:

- ✓ Reprezentați grafic **temperatura** exprimat în $^{\circ}\text{C}$ în funcție de **timpul** exprimat în **min**.
- ✓ Apreciați ce se întâmplă cu temperatura în timpul topirii naftalinei!
- ✓ Calculați rata de încălzire a sistemului utilizat!



Cum explicați abaterea temperaturii de topire a naftalinei de la 80°C ?

7. Echilibrul termic al organismului uman

Temperatura normală a corpului uman măsurată în axilă este în medie $36,5-37^{\circ}\text{C}$. Între $37-38^{\circ}\text{C}$ apare starea subfebrilă, iar peste 38°C se considera stare febrilă



În interiorul corpului temperatura rămâne constantă cu o variație de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. În general dimineața temperatura normală a corpului uman are valori mai mici decât seara. Organismul uman eliberează energie în procesul de respirație celulară, când glucoza se oxidează producând apă, dioxid de carbon și energie. O parte din această energie este radiată sub formă de căldură, iar restul se depozitează sub formă de ATP, adenozin trifosfat, substanță chimică. Atunci când cantitatea de căldură produsă de organism este egală cu căldura pierdută, persoana respectivă se află în echilibru termic. Organismul poate pierde surplusul de căldură prin două mecanisme: conducția dublată de radiație și evaporarea – mult mai eficientă, datorită valorii mari a căldurii de vaporizare. Ori, evaporarea este posibilă prin transpirație (sudație), adică prin eliminarea surplusului de apă spre suprafața pielii, prin glandele sudoripare situate în dermă și având un tub de eliminare a apei pînă la suprafața externă a epidermei.

Mecanismele prin care corpul își menține temperatura constantă sunt foarte complexe. Pe lângă reglajul nervos patronat de hipotalamus, există și un reglaj hormonal asigurat de către hipofiză, tiroidă și suprarenale. Ei bine, în creier avem niște neuroni termosensibili! Acești neuroni din hipotalamus sesizează diferențele de temperatură ale sângelui și dacă temperatura este prea mare, sângele este direcționat spre zonele pielii unde se află glandele sudoripare care vor elimina apă prin evaporare și vor răci organismul. Sudoarea astfel secretată este un ultrafiltrat sanguin, care nu conține doar apă, ci și clorură de sodiu, de potasiu, amoniac, acid uric etc. În 24 de ore eliminăm prin transpirație puțin peste o jumătate de litru apă. Pentru ca prin evaporare să se poată pierde căldură, este nevoie ca aerul să nu fie foarte încărcat cu vapori de apă. Într-un mediu perfect uscat, corpul suportă temperaturi ale mediului de pînă la 130°C , pe când într-un mediu cu umiditate crescută, temperatura de 49°C nu este suportată mai mult de câteva minute.

Febra înseamnă o creștere a temperaturii corporale peste limita obișnuită a normalului. Aceasta apare în: boli infecțioase (cu microbi sau virusuri), deshidratare (pierdere prea mare de apă din organism), ingerarea de substanțe toxice care afectează centrul de reglare a temperaturii din creier, boli ale creierului, tumori cerebrale. Febra are un rol important în apărarea organismului în infecțiile cu microbi și virusi și este considerată o reacție de necesitate. Prin febră organismul împiedică multiplicarea unor viruși și microbi. Din acest motiv, nu vă repeziți să luați medicamente fără recomandarea unui medic, pentru că se poate să nu luați medicamentul cel mai potrivit. Medicamentele antitermice sunt medicamentele care scad temperatura corpului.

Referent de specialitate: profesor Elena Voiculescu, Liceul Teoretic „Grigore Moisil” Bucuresti

