

«El racó del color» : una aproximació a la interacció de la radiació electromagnètica amb la matèria

«Colour» : an approach to the interaction of electromagnetic radiation with matter

Ramon Bosque, Amparo Caubet, Jaume Granell, Lourdes Mestres i Miquel Seco /
Universitat de Barcelona. Departament de Química Inorgànica



resum

L'objectiu d'aquest treball pràctic de laboratori, dirigit als estudiants de batxillerat, és fer un estudi sobre els diferents tipus de radiació electromagnètica i observar alguns dels efectes que es produeixen en la seva interacció amb la matèria. Es fan alguns experiments amb tres tipus de radiacions diferents: infraroja (IR), visible (Vis) i ultraviolada (UV). A més, s'observa la coloració de la flama a causa de la presència de diferents cations i es determina el contingut d'etanol d'unes mostres per colorimetria.

paraules clau

Color, radiació electromagnètica, assaig flama, colorimetria.

abstract

The goal of this laboratory experiment, which is aimed at high school students, is to study different types of electromagnetic radiation and to observe some of the effects that take place in its interaction with matter. These experiments are performed with three different kinds of radiation: infrared (IR), visible light (Vis) and ultraviolet radiation (UV). In addition, a flame colour test is presented to allow the identification of different ions, and students also determine the ethanol content of some samples by using a colorimetric technique.

keywords

Colour, electromagnetic radiation, flame test, colorimetric technique.

Introducció

«El racó del color» és una pràctica dissenyada per ser realitzada pels estudiants de secundària que assisteixen a «Fem química al laboratori», una activitat docent organitzada per la Facultat de Química de la Universitat de Barcelona amb l'objectiu de potenciar en els estudiants de batxillerat l'interès per la ciència en general i pel

món de la química en particular. Es pretén contribuir a la formació de l'estudiant en el treball de laboratori, tot posant-li al seu abast els recursos dels laboratoris de la Facultat, i aprofitar l'activitat per informar i formar les noves generacions sobre els aspectes positius de la química i les seves repercussions en la vida quotidiana.

La radiació electromagnètica i la seva interacció amb la matèria

L'objectiu d'aquesta experiència és fer un estudi sobre els diferents tipus de radiació electromagnètica i observar alguns dels efectes que produeix la seva interacció amb la matèria.

La llum es pot descriure com una ona electromagnètica que consisteix en un camp elèctric que varia amb el temps i que

genera un camp magnètic perpendicular. Així, l'ona es propaga en l'espai generant indefinidament camps elèctrics i magnètics perpendiculars a la direcció de propagació.

Els paràmetres característics d'una ona són la velocitat (c), la freqüència (ν), el període (T) i la longitud d'ona (λ), els quals estan relacionats per les equacions següents:

$$c = \lambda \cdot \nu = \frac{\lambda}{T}$$

El conjunt de totes les radiacions és el que s'anomena *espectre electromagnètic*, el qual es mostra esquemàticament en la taula següent. S'ha dividit en els intervals més habituals, anomenats *bandes espectrals* (taula 1).

Totes aquestes radiacions tenen aplicacions en el nostre entorn habitual. Nosaltres som emissors de radiació d'infraroig (IR) d'una longitud d'ona de 10^{-6} m a causa de la nostra temperatura corporal de 36-37 °C. Aquesta radiació IR s'utilitza en els equips de visió nocturna quan la quantitat de llum visible és insuficient per veure els objectes: la radiació es rep i després es reflecteix en una pantalla; els objectes més calents es converteixen en els més lluminosos. La radiació IR s'utilitza també en els comandaments a distància, ja que així no interfereixen amb altres senyals electromagnètics com els senyals de televisió (que són ones de ràdio), i per comunicar a curta distància els ordinadors amb els seus perifèrics. Altres aplicacions importants són la termografia, la soldadura o l'assecat de paper o aliments.

D'altra banda, si s'il·luminen alguns materials amb radiació ultraviolada, aquests emeten radiació visible a causa del feno-

Banda espectral	Longitud d'ona / m	Freqüència / Hz	Energia / J·mol ⁻¹
Raigs gamma	10^{-12} a 10^{-10}	$3 \cdot 10^{20}$ a $3 \cdot 10^{18}$	$1,2 \cdot 10^{11}$ a $1,2 \cdot 10^9$
Raigs X	10^{-10} a 10^{-8}	$3 \cdot 10^{18}$ a $3 \cdot 10^{16}$	$1,2 \cdot 10^9$ a $1,2 \cdot 10^7$
Ultraviolat	10^{-8} a $3,8 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{16}$ a $7,9 \cdot 10^{14}$	$1,2 \times 10^7$ a $3,1 \cdot 10^5$
Llum visible	$3,8 \cdot 10^{-7}$ a $7,8 \cdot 10^{-7}$	$7,9 \cdot 10^{14}$ a $4 \cdot 10^{14}$	$3,1 \cdot 10^5$ a $1,5 \cdot 10^5$
Infraroig	$7,8 \cdot 10^{-7}$ a $3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{14}$ a 10^{12}	$1,5 \cdot 10^5$ a 400
Microones	$3 \cdot 10^{-4}$ a 1	10^{12} a $3 \cdot 10^8$	400 a 0,12
Ones de ràdio	> 1	< $3 \cdot 10^8$	< 0,12

Taula 1. Les bandes espectrals de l'espectre electromagnètic.

men de la fluorescència. Aquesta propietat s'utilitza per autenticar antiguitats o bitllets de banc, així com per a l'estudi de diferents fluids corporals en la ciència forense.

La radiació visible comprèn longituds d'ona de 380 a 780 nm. La llum de cada una d'aquestes longituds d'ona es percep en el cervell humà com un color diferent.

Els colors primaris de la llum són el vermell, el verd i el blau. Hi ha aparells que combinen la

llum emesa per focus lluminosos d'aquests tres colors per tal de crear la sensació de colors diversos. La mescla additiva de vermell i verd dona groc o taronja. La barreja de verd i blau dona tons de color turquesa, i si es mescla vermell amb blau s'obtenen tons violeta i magenta. La barreja en proporcions iguals dels tres colors primaris dona lloc al color blanc. Així, en funció de la longitud d'ona de la radiació que arriba als nostres ulls veurem els diferents colors (taula 2).

Color	Interval de longitud d'ona / nm	Interval de freqüència / Hz
Violat	~ 380 a 430 nm	~ $7,9 \cdot 10^{14}$ a $7,0 \times 10^{14}$ Hz
Blau	~ 430 a 500 nm	~ $7,0 \cdot 10^{14}$ a $6,0 \cdot 10^{14}$ Hz
Turquesa	~ 500 a 520 nm	~ $6,0 \cdot 10^{14}$ a $5,8 \cdot 10^{14}$ Hz
Verd	~ 520 a 565 nm	~ $5,8 \cdot 10^{14}$ a $5,3 \cdot 10^{14}$ Hz
Groc	~ 565 a 590 nm	~ $5,3 \cdot 10^{14}$ a $5,1 \cdot 10^{14}$ Hz
Taronja	~ 590 a 625 nm	~ $5,1 \cdot 10^{14}$ a $4,8 \cdot 10^{14}$ Hz
Vermell	~ 625 a 740 nm	~ $4,8 \cdot 10^{14}$ a $4,0 \cdot 10^{14}$ Hz

Taula 2. Els colors.

Procediment experimental

Tenim tres bombetes de la mateixa potencia (100 w) amb zones d'emissió diferents en l'espectre electromagnètic: infraroig (IR), visible (Vis) i ultraviolat (UV), de 254 nm.

1. Es col·loquen una peça d'alumini i un regle de plàstic sota de cada bombeta (a uns 20 cm de distància) i es mesura la temperatura de cada peça (figura 1). S'encenen els tres llums i es deixa que la radiació actuï sobre les peces. Després de 5 min es torna a mesurar la temperatura de cadascuna de les peces (es pot fer d'una manera qualitativa amb la mà).

Qüestions:

- a) Quina llum escalfa més?
 - b) Aquesta radiació és la més energètica?
 - c) Les tres radiacions interaccionen igual amb la matèria?
2. S'agafen tres retoladors marcadors de color verd, taronja i blau. Es marquen tres paràgrafs d'una pàgina escrita i es decideix quin es veu més bé. Amb llum de dia, l'ull humà presenta la màxima sensibilitat a 555 nm, que correspon al color groc verdós. S'observa també el full sota els altres llums.
 3. Es col·loca una placa de cromatografia (de tipus F254) sota el llum d'ultraviolat i s'observa què succeeix si es marca amb el dit.
 4. Es col·loca sota el llum d'ultraviolat una solució etanòlica de fluoresceïna, una ampolla de tònica (figura 2), alguns bitllets de banc (figures 3 i 4) i, finalment, uns cristalls de $(\text{UO}_2)(\text{NO}_3)_2$ (figura 5). Quins canvis es produeixen?



Figura 1. Experiments amb tres bombetes que presenten zones d'emissió diferents en l'espectre electromagnètic: infraroig (IR), visible (Vis) i ultraviolat (UV).



Figura 2. Acció de la radiació ultraviolada sobre una ampolla de tònica



Figura 3. Acció de la radiació ultraviolada sobre uns bitllets de banc.



Figura 4. Els mateixos bitllets de la figura 3 sota la radiació visible.



Figura 5. Acció de la radiació ultraviolada sobre uns cristalls de $(\text{UO}_2)(\text{NO}_3)_2$.

Nivells energètics dels àtoms i assaig a la flama

Si en la flama produïda per un Bunsen s'introdueix un fil metàl·lic (de platí o d'un aliatge de níquel i crom, anomenat Nicrom) impregnat amb una sal, la flama adquireix un color característic de l'element metàl·lic, que conté la sal i que pot permetre la seva identificació. La calor de la flama volatiliza la sal, la dissocia en àtoms, i una fracció dels àtoms metàl·lics és excitada a causa del pas dels seus electrons de valència a nivells energètics superiors. En tornar els electrons al nivell energètic fonamental, emeten una radiació que és característica de cada element, la qual cosa dona lloc a l'espectre d'emissió (figura 6). En els castells de focs s'utilitza aquesta propietat d'emetre llum de diferents colors quan es barreja la pólvora amb les sals metàl·liques corresponents.

Bec de Bunsen: instrument utilitzat en els laboratoris per escalfar. El cremador té una base pesada en la qual s'introdueix el subministrament de gas. D'allí parteix un tub vertical pel qual el gas flueix. A la base hi ha unes perforacions que permeten l'entrada d'aire en el flux de gas i que proporcionen una barreja inflamable a la sortida dels gasos a la part superior del tub, on es produeix la combustió (figura 7).

La temperatura de la flama es pot controlar per l'ajust de la quantitat d'aire que entra per la base. Si la quantitat d'aire és alta, la temperatura també ho és (450 °C a la base i 1200 °C en el punt més alt del conus interior) i la flama es veu blava (figura 8, número 4). Si entra poc aire, la temperatura de la flama és inferior (250 °C a la base i 900 °C en el punt més alt) i la flama té un color taronja o groc (figura 8, número 1).

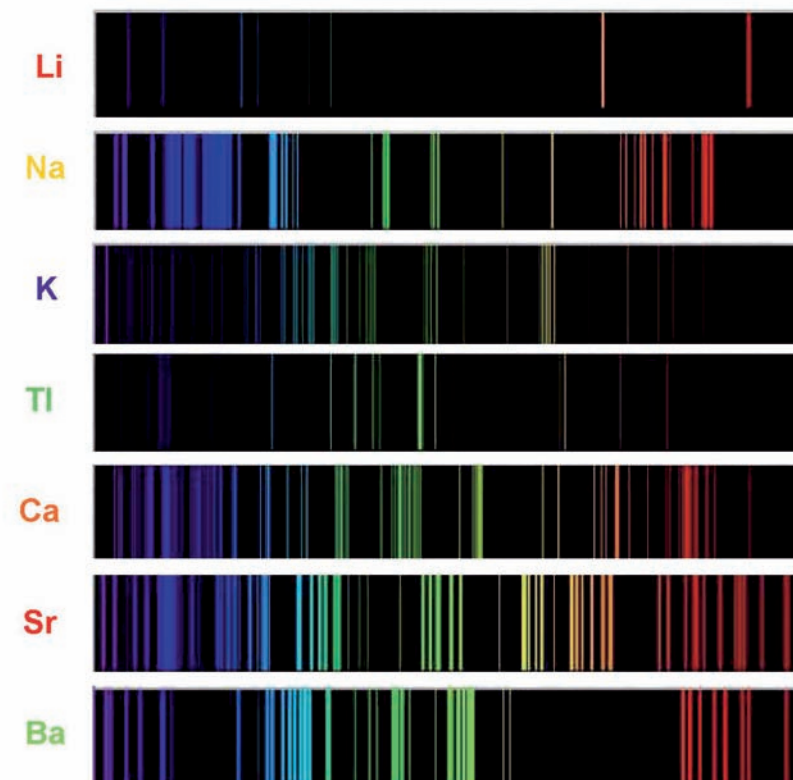


Figura 6. Espectre d'emissió, en la zona del visible, de diferents àtoms.

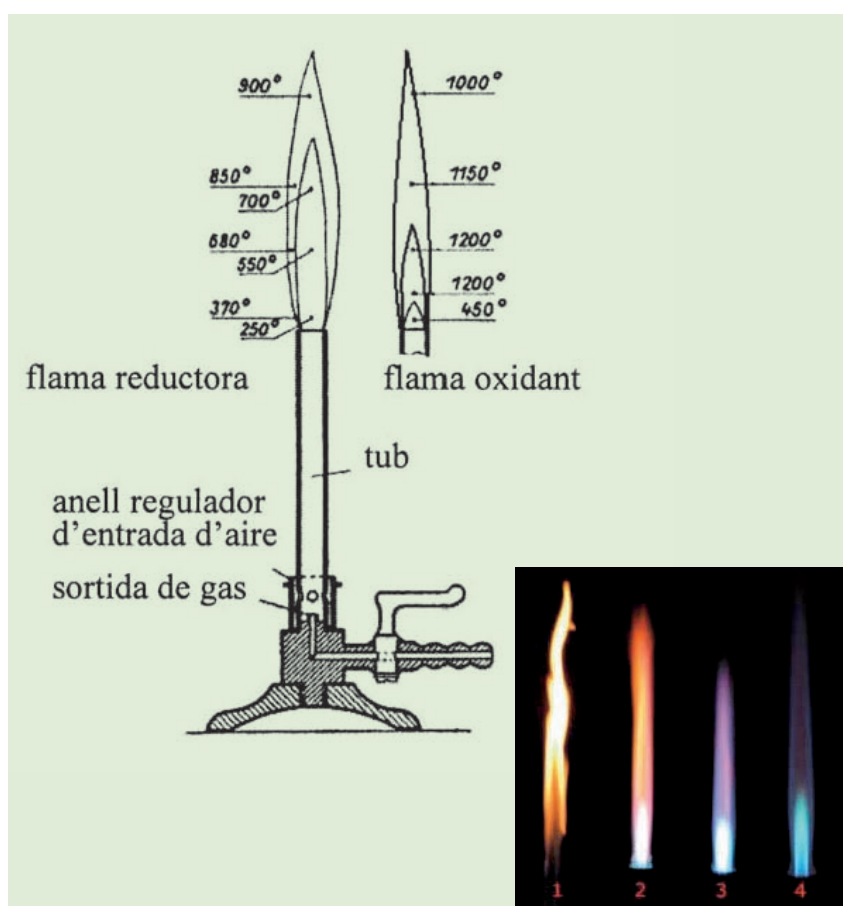


Figura 7. El bec de Bunsen.

Figura 8. Color de la flama en funció de l'entrada d'aire.

Procediment experimental

L'objectiu de l'experiència és observar la coloració de la flama causada per la presència de diferents cations i identificar una mostra problema utilitzant aquesta tècnica.

Les observacions a la flama cal fer-les amb el fil metàl·lic perfectament net, per la qual cosa inicialment el posarem a la part baixa de la flama i comprovarem que no en varia el color (prova en blanc).

A continuació, s'introdueix l'extrem del fil metàl·lic a la solució aquosa de diferents sals metàl·liques i s'observa el color que es produeix quan aquestes solucions es porten a la flama. Es treballa amb solucions aquoses a l'1 % dels clorurs de diferents metalls; finalment, es fa la mateixa prova amb una solució problema i, per comparació dels colors, s'identifica la mostra. Se suggereix de netejar el fil de platí amb una solució d'HCl concentrat abans de cada observació.

Qüestions:

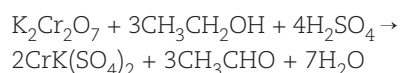
- Utilitzant la figura 6, indiqueu quin element té la línia d'emissió d'energia més baixa: el liti o el sodi?
- Per què s'utilitza un fil de platí per fer l'assaig?

Nivells energètics de les molècules i aplicació de la colorimetria per a la realització de proves d'alcoholèmia

Els nivells energètics dels compostos d'un element són diferents entre ells i també respecte als de l'element lliure. Això explica, per exemple, que l'ió dicromat tingui un color diferent del crom(III) en solució aquosa.

Quan un feix de llum de l'energia adequada travessa una mostra, els electrons de la mostra s'exciten a nivells energètics superiors, tot absorbint radiació electromagnètica d'unes freqüències característiques. Per això la intensitat de llum que surt de la mostra és inferior a la que hi incideix. La mesura de la quantitat de llum transmesa (o absorbida) per la mostra es pot fer amb un colorímetre. A més, es pot relacionar el grau d'absorció de la mostra (l'absorbància) amb la concentració de la substància que absorbeix la radiació, segons la llei de Lambert-Beer.

Una de les maneres de determinar el contingut d'etanol en una mostra, de la qual es vol conèixer el contingut d'alcohol, és fer-la reaccionar amb dicromat de potassi. Aquesta reacció dona lloc a la formació d'un compost de crom(III), de color blau fosc. A continuació, es fa una colorimetria que ens indicarà la quantitat de crom(III) present en el medi i que podem relacionar amb el contingut d'alcohol de la mostra, ja que es treballa amb un excés de dicromat de potassi. Aquesta mesura, en les condicions en les quals es realitza la pràctica, és semiquantitativa, i la reacció que té lloc és la següent:



El dicromat oxida l'etanol a etanal i les sals de plata catalitzen el procés.

En el decurs de la pràctica, es pot detectar l'olor a etanal. (Podeu veure el procediment experimental a la p.31.)

Es valora molt positivament l'interès que desperten els experiments en els estudiants, el fet que siguin unes pràctiques força participatives i que es relacioni l'experiència de laboratori amb fets i aplicacions que es poden trobar a la vida quotidiana

Conclusions

El conjunt d'experiències presentades en aquest article es va incorporar a les sessions de «Fem química al laboratori» el curs 2008-2009 i des de llavors les han realitzat uns dos mil sis-cents estudiants. El «Racó del color» ha rebut una molt bona valoració tant pels estudiants de batxillerat (4,0 sobre 5) com també pels professors (4,4 sobre 5), tal com indiquen les enquestes realitzades.

Concretament es valora molt positivament l'interès que desperten els experiments en els estudiants, el fet que siguin unes pràctiques força participatives i que es relacioni l'experiència de laboratori amb fets i aplicacions que es poden trobar a la vida quotidiana.

Bibliografia

- DRAGOJLOVIC, V.; JONES, R. F. (1999). «Flame tests using improvised alcohol burners». *Journal of Chemical Education*, 76: 929-930.
- LANDIS, A. M.; DAVIES, M. I.; LANDIS, L.; THOMAS, N. C. (2009). «Magic eraser flame tests». *Journal of Chemical Education*, 86: 651-578.
- PRADA PÉREZ DE AZPEITIA, F. I. de (2009). «El fuego como luminoso recurso didáctico». *Educació Química (EduQ)*, 2: 11-15.
- TREPTOW, R. S. (1974). «Determination of alcohol in breath for law enforcement». *Journal of Chemical Education*, 51: 651-652.

Procediment experimental

- Es posen, en quatre erlenmeyers de 100 mL, 25 mL d'una solució que conté dicromat de potassi (5 g/L) i nitrat de plata (1 g/L) en àcid sulfúric/aigua 1 a 3.
Atenció: l'àcid sulfúric és corrosiu i el dicromat de potassi és tòxic. En cas de contacte accidental amb els ulls o la pell, cal rentar-se amb aigua abundant i consultar el metge.
- Es pren amb la pipeta 1 mL de cadascuna de les quatre solucions patrons (amb les concentracions d'etanol següents: 0,8, 1,6, 2,4 i 3,2 g/100 mL, respectivament); s'afegeixen a l'erlenmeyer corresponent; es manté l'agitació a temperatura ambient durant 20 min, i s'observa el color de les solucions.
- Se selecciona la longitud d'ona de 585 nm al colorímetre i es mesura el valor de l'absorbància corresponent. Cal fer les mesures des de la solució més diluïda fins a la més concentrada. Per fer la mesura, es neteja tres vegades el tub amb la nova solució a mesurar, s'omple fins a la marca corresponent, s'asseca bé l'exterior del tub i es col·loca al colorímetre de manera que la marca vertical del tub coincideixi amb la marca del colorímetre.
- Finalment, es fa un gràfic de l'absorbància enfront de la concentració d'etanol.

A la figura 9 es mostra (d'esquerra a dreta) el color resultant de la reacció, feta amb 46,2, 30,8, 15,4 i 7,7 g d'etanol/100 mL de quatre mostres que presenten unes concentracions deu vegades més elevades que les que s'utilitzen a la pràctica per destacar els diferents colors que es poden observar en aquesta reacció.



La graduació alcohòlica s'expressa en graus i mesura el contingut d'etanol (en cm³) en 100 cm³ de mostra. Per això en 100 cm³ d'un vi de 13° hi ha 13 cm³ d'etanol o, si ho multipliquem per la densitat de l'etanol (0,8 g/cm³), 10,4 g d'etanol.

Gestió de residus: s'addicionen uns mil·lilitres d'etanol del 96 % a cadascuna de les mostres, s'agiten uns segons i s'aboquen en el contenidor de residus corresponent.

Figura 9. Color resultant de la reacció.

Qüestions:

- L'exactitud del procés augmenta si els erlenmeyers estan ben secs i si els 25 mL de la solució de dicromat de potassi es mesuren amb pipeta, en comptes de fer-ho amb proveta. Expliqueu aquest fet.
- Proposeu, utilitzant la gràfica obtinguda, quin hauria de ser el valor de l'absorbància d'una mostra de cervesa de 4°, d'una de vi de 12° i d'una altra d'un licor de 40°, si considerem que per fer l'anàlisi les mostres s'han de diluir en una proporció 1 a 10.
- Una solució del producte final de crom(III) absorbirà el mateix en qualsevol longitud d'ona?
- Busqueu la relació molar en cadascuna de les reaccions i verifiqueu quin és el reactiu limitant

Els autors són professors de la Facultat de Química de la Universitat de Barcelona. Els seus temes d'interès són la docència universitària en l'àrea de coneixement de la química inorgànica i la recerca en els camps següents: química inorgànica computacional (R. B.), química bioinorgànica (A. C.),

química organometàlica (J. G.), dendrimers i nanopartícules (M. S.) i química de l'estat sòlid (L. M.). A més, els autors són membres del grup d'innovació docent de la Universitat de Barcelona QISU (Química a la Interfase Secundària -Universitat), que és una via de relació entre la Facultat de

Química de la Universitat de Barcelona i els centres d'ensenyament secundari. En aquest context es dissenyen experiments i s'organitzen activitats per tal d'augmentar la formació científica, en l'àmbit de la química, dels estudiants de secundària.



A. e. ramon.bosque@qi.ub.es,
amparo.caubet@qi.ub.es,
jaume.granell@qi.ub.es,
lourdes.mestres@qi.ub.es,
miquel.seco@qi.ub.es.