

L'espectre d'hidrogen i la constant de Rydberg

Lorenzo Ramírez. <https://experimentacioliure.com/>

Niels Bohr va proposar en 1913 una teoria per a l'àtom d'hidrogen que tenia en compte les propostes quàntiques de Planck i Einstein i que portaven a establir la longitud d'ona de les radiacions de llum emeses per l'àtom d'hidrogen segons l'equació:

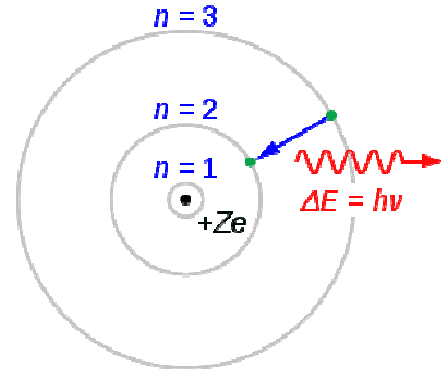
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 k m e^4}{h^3 c} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

que era formalment idèntica a la que Rydberg havia obtingut experimentalment a partir de les ratlles espectrals de l'hidrogen.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

λ és la longitud d'ona de la radiació que emet un electró quan salta del nivell n_i al n_f a l'àtom d'hidrogen. R és la constant de Rydberg que engloba a la constant de Planck h i altres constants de valor:

- Càrrega de l'electró: $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Massa en repòs de l'electró: $m_e = 9,108 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- Constant dielèctrica al buit: $k = 8,987 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
- Velocitat de la llum al buit: $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$



Emissió d'un fotó en el model atòmic de Bohr. Per JabberWok (CC BY-SA 3.0) via Wikimedia Commons

En aquest treball es proposa comprovar la validesa de les equacions de Rydberg i Bohr per a la Sèrie de Balmer que és aquella en la que els electrons acaben en el nivell $n = 2$ i que es troba en el visible, i determinar el valor de la constant de Rydberg, R .



A partir d'aquí, la constant de Planck o qualsevol altra de les constants involucrades es poden determinar a partir de la relació:

$$h^3 = \frac{2\pi^2 k m e^4}{R c}$$

Utilitzant cada valor de la longitud d'ona mesurada en relació als valors que corresponguin de n_i i $n_f = n_2$ s'obté la constant de Rydberg (R). Si es donen per conegudes la resta de constants, a partir de R es pot calcular el valor de la constant de Planck (h), que no s'hauria d'allunyar massa de $6,625 \times 10^{-34} \text{ joule/seg}$.

Material

Es necessita un tub espectral d'hidrogen que es connecta a una font d'alimentació d'alta tensió que excitarà el gas i emetrà la llum visible que s'analitza amb un espectroscopi de mà amb escala (quantitatiu).

Espectroscopi

S'ha d'utilitzar un espectroscopi que sigui capaç de mesurar el nanòmetre. També serveix si l'escala mesura els 10 nm, ja que es pot intercalar als 5 nm com a mínim i la imprecisió no sobrepassaria el 5%. Si no es disposa es pot comprar una a partir dels 20 €, o construir un de cartró imprimint el dibuix del final del document.

Tub espectral d'hidrogen

Aquest tub es pot demanar al Cesire a través dels CRPs dels Serveix Educatius. També es pot comprar en les cases de material de laboratori per uns 25 €.



Tub espectral de mercuri

La línia verda del mercuri es pot utilitzar per a calibrar l'espectroscopi. L'alternativa és un tub fluorescent o una bombeta de baix consum que també emeten la línia verda del mercuri.

Font d'alimentació d'alta tensió

Es pot demanar al Cesire a través dels centres de recursos pedagògics (CRPs) dels Serveix Educatius. També es pot comprar una font d'alta tensió (uns 3000 V) en les cases de rètols lluminosos de neó per uns 20 €.



Procediment

Es connecta el tub d'hidrogen a la font d'alimentació i aquesta a la xarxa elèctrica. S'ha de parer compte amb no apropar-se massa al dispositiu una vegada en marxa ja que, encara que el corrent màxim que subministren aquestes fonts són 30 mA, la rampa a 3000 V pot ser forta. Millor si és el o la profe que corre el risc d'endollar el tub.

Mirant amb l'espectroscopi al tub encès es veuen fàcilment tres de les ratlles brillants de l'hidrogen. Enfosquant l'habitació i esperant fins que els ulls s'hagin acostumat a la foscor, podrà veure's també una quarta línia de l'hidrogen en el violeta llunyà. Algunes persones poden tenir certa dificultat fisiològica per veure la línia violeta més fosca.

A una taula com la que ve a continuació s'apunten les dades obtingudes amb l'espectroscopi. Estan incloses per a la comparació les longituds d'ona de la sèrie de

Balmer. En concret, la línia verda del mercuri es pot utilitzar per a calibrar l'espectroscopi (si es disposa de làmpada de sodi es pot calibrar amb la línia groga).

Element	Color	λ (en nm) valors experiment	λ (en nm) dades d'un manual
Mercuri	Verd	546	546
Hidrogen	1. Violeta fosc		410
	2. Violeta		434
	3. Blau-verd		486
	4. Roig		656

Per a trobar a quines transicions electròniques corresponen les línees espectrals de la sèrie del visible de l'hidrogen s'ha de completar la taula de sota que relaciona per una part els nivells energètics de l'àtom en l'equació de Rydberg per a diferents possibilitats de salt, i per una altra les diferents longituds d'ona obtingudes.

S'han de calcular doncs tant amb les raons dels inversos de la longitud d'ona per a cada parell de salts possibles (de 2 a 1, de 3 a 1, etc) com les raons de les inverses de les longituds mesurades amb l'espectroscopi. Les primeres raons o quocients s'han d'obtenir a partir de la proporció 1 (ja està calculada en la taula la primera raó com exemple):

$\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}$	$\frac{1}{\lambda_1}$
$\frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i'^2}$	$\frac{1}{\lambda_2}$
Proporció 1	Proporció 2

Els quocients de les longituds d'ona de l'hidrogen obtingudes experimentalment (proporció 2) s'han de col·locar en les files que més s'ajustin als valors per tal d'esbrinar a quines transicions correspon cada λ .

n_i	n_i'	n_f	Raó calculada	Raó mesures
			$\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}$	$\frac{1}{\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$
			$\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i'^2}$	λ_2
2	3	1	0,8438	
2	4	1		
2	5	1		
3	4	2		
3	5	2		
3	6	2		
4	5	3		
4	6	3		
4	7	3		

Una vegada que es troba a quina longitud d'ona correspon cada transició ja es pot calcular R per a cada línia espectral λ :

$$\frac{1}{R} = \lambda \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

I donar per bona la mitjana aritmètica dels valors obtinguts.

Alternativa

- Si no es disposa del material sempre es poden realitzar els càlculs que es proposen en aquest protocol ja que es disposa dels valors de les longituds d'ona de l'espectre de l'àtom d'hidrogen.

Resultats previsibles

n_i	n'_i	n_f	Raó calculada $\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}$ $\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n'_i^2}$	Raó mesures $\frac{1}{\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ $\frac{1}{\lambda_2}$
2	3	1	0,8438	
2	4	1	0,8000	
2	5	1	0,7813	
3	4	2	0,7407	486/656 = 0,7408
3	5	2	0,6614	434/656 = 0,6616
3	6	2	0,6250	410/656 = 0,6250
4	5	3	0,6836	
4	6	3	0,5833	
4	7	3	0,5359	

Per tant

656 nm corresponen a la transició $n=3$ a $n=2$

486 nm corresponen a la transició $n=4$ a $n=2$

434 nm corresponen a la transició $n=5$ a $n=2$

410 nm corresponen a la transició $n=6$ a $n=2$

El valor de **R** per l'hidrogen hauria de sortir al voltant de: $1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$



roig, taronja, groc, verd, blau, violet

Espectroscopi amb escala

Font de llum →

L'escala de 400 a 750 nm està dissenyada per les dimensions de la caixa i per una xarxa de CD de 625 lin/mm, amb una precisió de 5 nm.

Hi ha incorporada una altra escala de 0 a 70 per si es vol calibrar l'espectroscopi amb més exactitud.

Linies de mercuri en les làmpades de baix consum o en els fluorescents: 436 (blava), 546 (verda) i 577-579 nm (groga).

Linies de sodi en les faroles grogues del carrer: 589-590 nm (groges)).

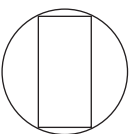
Linies de l'hidrogen d'un tub de descàrrega: 410 (violet-fosc), 434 (violet), 486 (blau-verd) i 656 nm (roig).



Aquest espectroscopi pertany a:

Retalleu el rectangle encerclat i pegueu per sota un bocí de CD sense pel·lícula metàl·lica.

Si no veieu nítidament l'escala (si teniu la vista cansada) mireu a través d'una lent o lupa d'uns 12 cm de distància focal



xarxa CD
625 lin/mm

Per aconseguir l'escala, imprimeu aquest full en un paper blanc normal i retalleu-la. Retalleu també l'escaleta per on ha d'entrar la llum. Després, pegueu-la amb la part fosca cap a dins, escaleta sobre escaleta. Si la imprimeu en una transparència d'acetat us estalviareu retallar l'escaleta i quedarà més elegant, però no funcionarà millor.

Espectroscopi CD amb escala

Lorenzo Ramírez, 2009, <http://experimentaciollivre.wordpress.com/>

Suggeriments sobre què observar amb aquest espectroscopi:

- La llum de bombetes, fluorescents, llanternes, veles, ...
- La llum de les faroles del carrer
- Els tubs de neó i altres gasos dels anuncis lluminosos
- La pantalla de la televisió o del ordinador
- La llum del Sol (mai directament!!) enfocant a una part lluminosa del cel
- La Lluna plena brillant
- La llum de les llanternes de diodes de diferents colors
- La llum blanca després de travessar diferents filtres de color
- L'emissió de les sals de diferents metalls quan es fiquen a la flama d'un bunsen
- La llum blanca després de travessar dissolucions acolorides
- L'emissió de tubs de descàrrega de gasos (d'hidrogen, de mercuri, d'heli, ...)

Imprimeu aquest full en una cartolina fosca, retalleu la caixa de l'espectroscopi, el rectangle per la xarxa de difracció de CD i l'escaleta per on entrarà la llum, doblegueu les línies puntejades i pegueu la llengüeta lateral. Col·loqueu només superposat al rectangle el bocí de CD per comprovar que les línies espectrals surten al lloc adequat, tapant l'altre extrem amb la mà i, a continuació, pegueu-lo.