

Notícia biogràfica de Peter Debye (1884-1966)

El passat 24 de març s'esqueia el centenari del naixement del cèlebre físic i químic Peter Debye (Debije, en holandès), nascut a Maastricht (Holanda) el 24 de març de 1884 i mort a Ithaca, Nova York, el 2 de novembre de 1966. La seva obra, àmplia i fructífera, li valgué el Premi Nobel de Química de 1936. Debye no fou un descobridor de noves lleis bàsiques de la física. Aquest paper el desenvoluparen personatges contemporanis seus com ara Planck, Einstein, De Broglie, Heisenberg, Schrödinger, Born i Dirac, principalment. Ell tingué un coneixement profund i fructífer de les lleis ja establertes —consolidades o tot just acabades de formular— i les aprofità al màxim a través de la seva gran intuïció simplificadora, capaç d'establir connexions agosarades que obrien nous camins en camps difícils.

Els inicis

Debye estudià a Maastricht l'ensenyament primari i secundari.^{1,2} A continuació, cursà els estudis universitaris a la Technische Hochschule d'Aachen (Aquisgrà), a pocs quilòmetres de la seva ciutat natal, ja passada la frontera amb Alemanya. Dues grans personalitats de la física ensenyaven llavors a Aachen:



Fig. 1
Peter Debye (1884-1966)

Max Wien i Arnold Sommerfeld, amb qui Debye es graduà amb un treball sobre corrents de Foucault, el seu primer treball publicat (1907). Quan Sommerfeld fou nomenat professor a Munic, s'emportà amb ell el seu estudiant. A Munic, Röntgen era el professor de física experimental i mantenia un grup de recerca sobre raigs X. Aquest fet tingué força influència sobre Debye, com prodrem veure. El 1909, Laue, que havia estat ajudant de Planck a Berlín, vingué a Munic atret pel prestigi de Sommerfeld. Fou aquí on Laue, el juny de 1912, tingué la transcendental idea d'aplicar la difracció de raigs X a l'estudi d'estructures cristal·lines. Això, a més d'establir el caràcter ondulatori dels raigs X, obrí un camp vastíssim de recerca cristal·logràfica, molecular i atòmica. Veiem així l'origen d'un dels grans interessos de Debye: la interacció dels raigs X amb la matèria.

Cronologia

- 1884: Neix a Maastricht (Holanda) el 24 de març
- 1904-1906: Estudis a Aachen amb Sommerfeld
- 1906-1911: A Munic amb Sommerfeld. Laue: difracció raigs X en cristalls
- 1911-1912: Universitat de Zuric (calors específiques sòlids, constant dielèctrica, molècules polars)
- 1912-1913: Universitat d'Utrecht (influència vibració tèrmica en la difracció de raigs X)
- 1913-1920: Universitat de Göttingen (interacció raigs X amb matèria, mètode Debye-Scherrer)
- 1920-1927: Institut Politècnic de Zuric (electròlits, teoria Debye-Hückel)
- 1927-1936: Universitat de Leipzig (estructura molecular mitjançant difracció raigs X), Premi Nobel de Química de 1936
- 1936-1939: Universitat de Berlín
- 1940-1950: Universitat Cornell (Ithaca, Nova York) (polímers)
- 1966: mor el 2 de novembre

Mecànica estadística I: teoria de calors específiques

mentrestant, però, Debye ha marxat a Zuric, des del 1911, on succeeix Einstein a la Universitat. Aquesta successió no és solament anecdòtica. El 1907, Einstein havia aplicat les idees

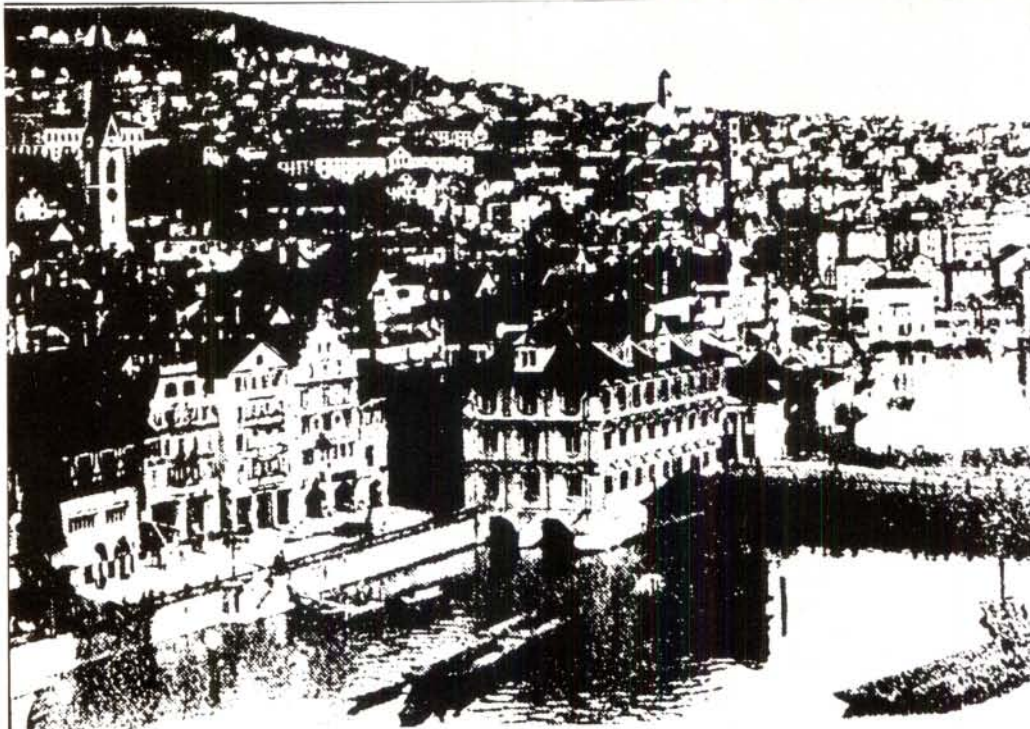


Fig. 2

Zurich vers 1912, època en que hi treballava Debye.

de Planck a les oscil·lacions en els sòlids dielèctrics i arribà a demostrar que, com a conseqüència de la quantificació, la calor específica del sòlid tendeix vers zero en apropar-se la temperatura al zero absolut. Tanmateix, el treball d'Einstein estava basat en una aproximació inadmissible: que totes les molècules del cristall vibren amb la mateixa freqüència. Donada la complexitat i la intensitat de les interaccions, aquesta hipòtesi era inversemblant.

Debye recorregué a un model continu per trobar una distribució de freqüències més plausible, i establí un espectre simplificat a partir de la hipòtesi que la relació de dispersió de les ones elàstiques és lineal. Així fou capaç, amb càlculs molt simples, de millorar el treball d'Einstein i d'aconseguir el resultat experimentalment correcte segons el qual la calor específica a baixes temperatures disminueix com T^3 (T és la temperatura absoluta). Aquest model de Debye [Annalen der Physik 39, 789 (1912)] fou molt utilitzat per la seva gran simplicitat per a d'altres diversos càlculs de la naixent teoria d'estat sòlid. La temperatura de Debye, una constant característica de cada material en funció de la qual es pot descriure tota la dependència de la calor específica amb la temperatura, és una de les magnituds que des de llavors

porten associat el seu nom i el donen a conèixer a tots els estudiants de física.

Tot i això, la teoria de Debye és també massa simplificada: la relació de dispersió de les ones elàstiques no és lineal, i l'espectre de vibracions del sòlid no és parabòlic, sinó molt més irregular. El mateix 1912, poc després de la publicació del treball de Debye, Born i von Karman publicaven un mètode més detallat que millorava lleugerament els resultats de Debye per a la calor específica i que era aplicable a un domini més gran de problemes de dinàmica de xarxes, a costa, això sí, d'una complexitat molt superior.

Mecànica estadística II: constant dielèctrica de fluids polars

El mateix 1912 fou publicat un altre treball important de Debye [Phys. Zeit. 13, 97 (1912)], en el qual aplicava la teoria de Langevin de la susceptibilitat magnètica. Debye aprofità aquesta idea per explicar la forta dependència de la constant dielèctrica de certs líquids en funció

de la temperatura. Aquesta dependència, en efecte, era del tot inesperada en la teoria clàssica de Clausius-Mossotti, que considera que el moment elèctric de les molècules és totalment induït. Debye suposà que, a més de la part induïda, podia en certs casos haver-hi un moment elèctric permanent al qual podia aplicar-se la teoria de Langevin. En sumar les dues contribucions, obtingué el que és una de les seves fórmules més conegudes. Les unitats utilitzades des de llavors per a l'expressió de moments magnètics moleculars es denominen debye (10^{-18} unitats electrostàtiques). La publicació de la teoria de Debye estimulà una gran quantitat d'experiments destinats a mesurar el moment elèctric permanent de les molècules.

Poc després, el 1913 [Ber.d.Phys.Gesell. 15, 773 (1913)], Debye estudià els aspectes dinàmics de la polarització i aconseguí explicar la dispersió i l'absorció dielèctriques en funció del temps de relaxació dels moments dipolars, per al qual obtingué una expressió en funció de la viscositat del fluid, de la temperatura i del radi de les molècules.

La teoria de Debye presenta diverses limitacions: només és aplicable a gasos enrarits o dissolucions diluïdes, ja que no té en compte la interacció entre els dipols.

Aquesta limitació té com a conseqüència la denominada catàstrofe de polarització, segons la qual a temperatura prou baixa (de l'ordre de 500 graus Kelvin!) la constant dielèctrica hauria de ser negativa. Aquestes limitacions foren corregides poc després per Onsager.

Mecànica estadística III: teoria de Debye-Hückel

És curiós observar com els treballs de Debye més rellevants en mecànica estadística tenen lloc a Zuric. El 1912, Debye deixa Zuric per anar a Utrecht, on passa només un any, per traslladar-se, el 1913, a Göttingen. El 1920, degut als problemes de la depressió econòmica alemanya, deixa Göttingen i torna a Zuric, ara com a director de l'Institut Físic de la Technische Hochschule. En aquell moment, la càtedra de la Universitat que Debye havia ocupat anteriorment és en possessió d'un investigador encara poc conegut, Schrödinger. Tindrem ocasió de recordar-ho. Debye, aleshores, ja és cèlebre i ha estat proposat

Fig. 3
P. Debye (1884-1966).



per al Prem. Nobel en diverses ocasions.

El 1923 Debye publica, amb Hückel, dos articles sobre electròlits que obren una nova etapa en l'estudi d'aquests sistemes [Phys.Zeit, 24, 185, 305 (1923)]. El primer article estudia l'"atmosfera" que volta els ions en una dissolució electrolítica. Una càrrega d'un signe atreu un núvol de partícules de signe oposat, les quals tendeixen a apantallar el camp elèctric. La distribució de càrregues amb la distància ve donada en funció del potencial elèctric mitjançant la funció de distribució de Boltzmann. Al mateix temps, aquesta distribució determina el potencial elèctric, segons l'equació de Poisson. Tenim així dues equacions acoblades que es poden resoldre amb certes aproximacions. A partir d'elles és fàcil obtenir l'equació d'estat per a la pressió i per al potencial químic dels ions.

El segon article fa referència a la distorsió de l'atmosfera iònica en el cas que les càrregues es desplacin sota l'acció d'un camp elèctric exterior. Així es passa de l'estudi de les

propietats d'equilibri, tractades en l'article anterior, a les propietats dinàmiques —conductivitat elèctrica, per exemple. Els aspectes quantitius de la solubilitat i de la conductivitat elèctrica van ocupar Debye durant molts anys, amb col·laboradors com L. Pauling i H. Falkenhagen. Aquesta teoria té la limitació de ser vàlida tan sols a baixes concentracions. Això fa que hagi estat el punt de partença de molts estudis de generalitzacions, els quals han de trobar les expressions de Debye-Hückel com a cas límit.

La interacció dels raigs X amb la matèria

Ja hem parlat abans de l'origen de l'interès de Debye per aquest tema des de la seva època de Munic. Tornem ara a l'estada de Debye a Utrecht (1913). Laue acaba de proposar la difracció de raigs

X en els cristalls com a nou mètode de recerca. Sommerfeld ha manifestat algunes reticències respecte a la practicabilitat d'aquesta idea: el moviment tèrmic dels ions, ¿no esborrarà completament les regularitats del cristall davant la interacció amb els raigs X? Debye, motivat per aquesta pregunta, intenta explicar l'èxit de l'experiment. Així, calcula [Ann.d.Physik 43, 49 (1914)] la dependència de la intensitat de les taques de la difracció dels raigs X en funció de la temperatura. Arriba així al denominat factor de Debye-Waller, que descriu l'atenuació exponencial de l'amplitud del factor d'estructura amb el segon moment dels desplaçaments vibracionals (funció de la temperatura). El mètode explica que les figures de difracció se segueixin produint, encara que amb intensitat atenuada i, a més, suggereix una possibilitat d'observar les vibracions residuals quan la temperatura del cristall tendeix a zero, vibracions que fins aleshores eren una especulació de la teoria quàntica.

Les poques possibilitats ex-

perimentals d'Utrecht fan que el 1913 Debye es traslladi a Göttingen. Es, recordem-ho, la Göttingen efervescent de Klein, Hilbert, Bohr, Voigt, Prandtl, Madelung, von Karman... En arribar a Göttingen, el 1913, Bohr acaba de publicar, des de Copenhague, el seu primer article sobre teoria atòmica, que excita, entre molts d'altres, Debye. Aquest, que el mateix any publica una versió generalitzada de les condicions de quantificació de Bohr, intenta posar en evidència l'estructura de capes electròniques mitjançant la difracció de raigs X. Els primers experiments resultaren un fracàs per les limitacions de la font de radiació emprada, però portaren a un desenvolupament del mètode, junt amb Paul Scherrer, un estudiant suís. D'aquesta col·laboració naixerà el mètode de Debye-Scherrer: difracció de raigs X en mostres cristal·lines polvritzades, orientades a l'atzar. Aquest mètode ha resultat un instrument poderosíssim per a l'estudi d'estructures de cristalls i segueix essent molt utilitzat.

Observem, en aquest tema, l'interès a perfeccionar els raigs X com a mètode de determinació d'estructures, no tan sols de cristalls, sinó fins i tot de molècules. Perquè això fos aplicable, hi havia, entre la teoria i la pràctica, el problema del desordre, tèrmic en uns casos, mecànic en d'altres. Els dos treballs esmentats demostren aquesta barrera és franquejable, i Debye persevera llargament en aquest camí fins a assolir l'objectiu final de les estructures moleculars, que tants d'èxits tindrà des d'aleshores en disciplines com la bioquímica, per exemple.

Debye i els orígens de la mecànica quàntica

He comentat abans que Debye no revolucionà les bases de la física, les lleis fonamentals. Això no signi-

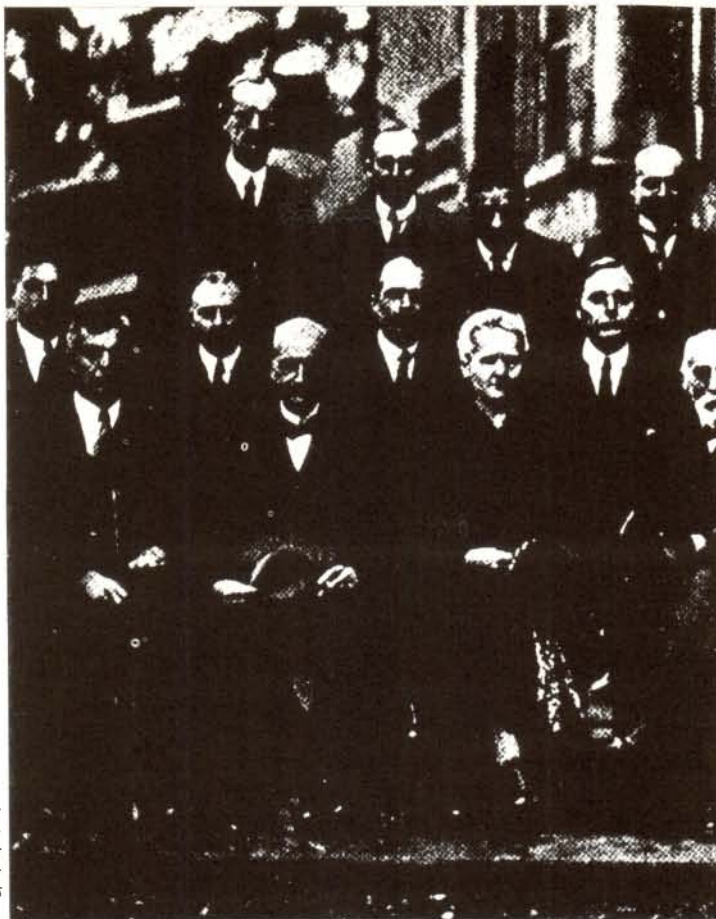


Fig. 4.

P. Debye juntament amb A. Piccards, Henriot, Ed. Herzen, P. Ebrnfest, M. Knudsen, W.L. Bragg, M.A. Kramers, J. Langucir, M. Planck, Madame Curie i H.A. Lorentz en el congrés Solvay l'octubre de 1927.

fica que es mantingués allunyat de les grans revolucions conceptuals del seu temps. Ja ho hem vist en el seu treball sobre calor específica de sòlids, el 1912, en què aplica les idees quàntiques d'Einstein. Els contactes de Debye amb els orígens de la quàntica no es redueixen, però, a aquest. Es poden subratllar, en una ràpida visió, tres altres punts.

El primer d'ells és la deducció de Debye de la funció de distribució de Planck el 1910 [Ann. der Phys. 33, 1427 (1910)], que és una de les primeres deduccions estadístiques d'aquesta llei. El segon es refereix a la interacció de la llum i els electrons, segons la teoria quàntica. Som, ara, novament a Zuric. Debye dona una explicació quantitativa de l'efecte Compton [Phys. Zeit. 24, 161 (1923)], és a dir, del canvi de longitud d'ona observat quan un raig X incideix contra un electró lliure. Tot i això, com que Compton fou el primer a mesurar experimentalment aquest fenomen i en donà una explicació teòrica, independent-

ment de Debye, fou aquell autor qui rebé el Premi Nobel de Física de 1927 per aquest treball.

El tercer punt és més aviat especulatiu i no pas una contribució directa. Segons Félix Bloch —també premi Nobel de Física, estudiant amb Debye a Zuric els anys 1925-1926—, els físics de l'Institut Politécnic (Debye) i de la Universitat (Schrödinger) es trobaven periòdicament per parlar de física i discutir les idees recents. En una d'aquestes reunions, Debye proposà a Schrödinger que parlés dels treballs de De Broglie, acabats de publicar. El seminari de Schrödinger fou interessant, però Debye li remarcà la manca d'una equació d'ona per a les ones associades als electrons. Al cap de poques setmanes, mogut per aquesta observació, Schrödinger havia obtingut ja l'equació que mancava: la seva cèlebre equació, tan fonamental en la teoria quàntica.

Des de 1927 fins al final

Des de 1927 fins a 1936, Debye ocupà la direcció de l'Institut Físic de la Universitat de Leipzig —la càtedra més ben pagada d'Alemanya, es deia. El seu prestigi féu d'aquell centre un focus d'interès i de pelegrinatge de físics, químics i físics moleculars. Allà tornà a interessar-se pels estudis de difracció de raigs X, i obtingué les primeres figures corresponents a molècules aïllades, a partir de les quals era possible estudiar l'estructura molecular; escriví un llibre sobre "Polare Molekeln" (*Molècules Polars*, 1929), un clàssic de la ciència, recollint els treballs fets en aquest camp des que ell l'inicià el 1912; interpretà les forces intermoleculars de Van der Waals en termes d'interaccions entre dipols; estudià el refredament mitjançant des-

magnetització adiabàtica (tema sobre el qual publicà el primer treball el 1926, al mateix temps que l'americà Giauque, qui per aquest treball obtingué el Premi Nobel de Química de 1949)...

L'any 1936, Debye passa a Berlín com a professor de Física a la Universitat i director de l'Institut de Física de la Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. Al principi de la guerra, el 1939, es prohibí a Debye l'entrada als seus laboratoris. Gràcies a la seva nacionalitat holandesa pogué exiliar-se en els Estats Units, on des de 1940 fins que es retirà, el 1950, exercí de professor a la cèlebre universitat Cornell. Els seus temes de treball giren aquests darrers anys al voltant dels polímers —difusió, viscositat, estructura molecular, mecànica estadística—, camps en què es mantingué actiu fins el dia de la seva mort, el 2 de novembre de 1966.

Malgrat que l'obra amplíssima de Debye és impossible de resumir en unes poques planes, no he volgut deixar passar per alt l'ocasió del seu centenari per recordar, una vegada més, el seu paper decisiu en l'evolució de tantes branques de la física i de la química.

David Jou

Referències

- 1) Vegeu nota biogràfica al *Dictionary of Scientific Biography* (Ch. C. Gillispie, editor), Scribner, Nova York, 1975
- 2) M. Davies, *J. Chem. Educ.* 45, 467-473 (1968)
- 3) P.J.W. Debye, *Collected Papers*, Interscience, Nova York, 1954
- 4) F. Bloch, *Physics Today*, 29, 23-27 (1976)