



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

2015 Any internacional de la llum

actualitat

Francisco Savall.

Professor de Física i Química · IES Número 1 · Xàbia

El 20 de desembre de 2013 la resolució 68/221 de l'Assemblea General de les Nacions Unides proclamava l'any 2015 com l'Any Internacional de la Llum i de les Tecnologies basades en la Llum. Amb aquesta resolució, l'ONU reconeix "la importància de la llum i de les tecnologies basades en la llum per a la vida dels ciutadans del món i per al desenvolupament futur de la societat mundial en molts nivells". És ben cert que la llum juga un paper fonamental en les nostres vides. Un repàs mental ràpid dels nostres hàbits permet identificar en poc temps alguns dels nombrosos usos que fem a diari de la llum i de les tecnologies que basades en ella.

Però, tot i que aquesta reflexió ràpida pot semblar suficient per justificar la proclamació d'un any internacional de la llum, l'ONU ha volgut anar més enllà i prendre en consideració no només els aspectes més quotidians. És així que l'ONU també considera "que les aplicacions de la ciència i la tecnologia de la llum són essencials per als avanços futurs i els ja assolits en els camps de la medicina, l'energia, la informació i les comunicacions, la fibra òptica, l'agricultura, la mineria, l'astronomia, l'arquitectura, l'arqueologia, l'oci, l'art i la cultura, entre d'altres, així com en molts sectors industrials i de serveis [...]". En la decisió s'han tingut en compte també alguns fets històrics que, per ser desconeguts per al gran públic, no deixen de ser menys importants i justifiquen la data de 2015.

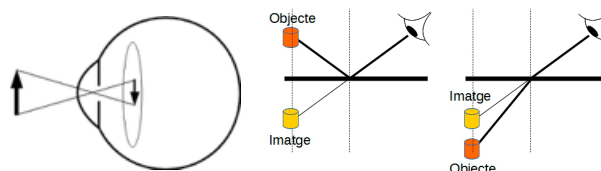
I per què en 2015?

En aquest any han coincidit diversos aniversaris d'una sèrie d'avanços fonamentals en la història de la ciència de la llum: els treballs sobre l'òptica de Al-Haytham (més conegut com Alhazén) de 1015, la noció del caràcter ondulatori de la llum proposada per Fresnel en 1815, la teoria electromagnètica de propagació de la llum formulada per J. C. Maxwell en 1865, la teoria d'Albert Einstein de l'efecte fotoelèctric en 1905 i de la incorporació de la llum en la cosmologia mitjançant la relativitat general en 1915, el descobriment del fons de microones del cosmos per A. Penzias i R. Wilson i els èxits assolits per C. Kao en la transmissió de llum per fibres per a la comunicació òptica, ambdós en 1965.

L'efemèride deixa fora molts científics i treballs que van ser fonamentals per a la comprensió de la llum, com els treballs sobre la visió de J. Kepler, la publicació del «Opticks» d'Isaac Newton o les aportacions experimentals de T. Young o de H. R. Hertz, per posar només alguns exemples. Tanmateix, la tria és suficient perquè hom es pugui fer una idea de la complexitat de l'estudi de la llum, que ha incidit en l'evolució de la ciència durant més de 1000 anys. Fem-ne una revisió, tot i que siga breu, dels fets històrics escollits per l'ONU.

Alhazén: els raigs de llum i la visió

Tot i que les aportacions que va fer no són correctes des del punt de vista de les concepcions actuals sobre la llum i la visió, se'l considera el pare de l'òptica pels seus experiments sobre la reflexió i la refracció, les lents i els espills. Alhazén (965?-1040) va concebre la llum com una entitat independent de la font emissora de llum, dels objectes i de l'ull. Això trencava amb les concepcions dels filòsofs grecs, que havien considerat que la llum eixia dels ulls i interaccionava amb els objectes, permetent així la visió (de manera similar a quan la mà entra en contacte amb un objecte i així percebem el seu tacte), o que dels objectes emanaven imatges que solcaven l'espai i entraven en els ulls o s'adherien als espills. Per Alhazén, cada punt d'un objecte emet un raig de llum que penetra en l'ull i forma sobre el cristal·lí una imatge del punt del qual procedeix. Així, la suma de les imatges de tots els punts reproduïx la imatge completa de l'objecte que s'observa. Seguint aquest model, va explicar la visió d'objectes en espills i també la visió d'objectes submergits, tot establint una relació de proporcionalitat entre l'angle d'incidència i el de refracció.



La imatge de l'esquerra mostra com es forma en el cristal·lí la imatge d'un objecte, d'acord amb Alhazén. La imatge central representa la reflexió: un raig de llum ix de cada punt de l'objecte, es reflecteix amb un angle igual al d'incidència en arribar a la superfície de separació entre dos medis materials i arriba a l'ull. La imatge s'observa en l'interior del segon medi, però per determinar la seua posició cal afegir una línia auxiliar, la línia vertical que uneix objecte i imatge. D'una manera similar Alhazén explicava la refracció (imatge dreta).

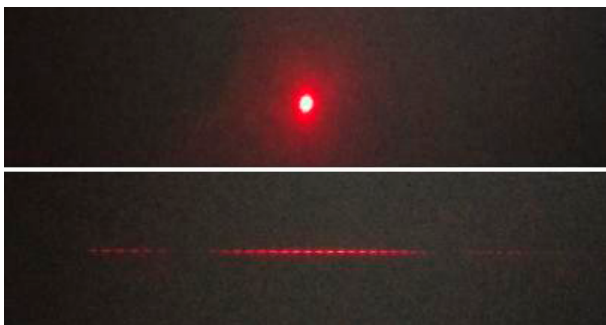
Com ja hem indicat, les seues explicacions presentaven diverses mancances. A tall d'exemple, amb un sol raig no es pot indicar la posició en què s'observa una imatge, dificultat que superava afegint unes línies auxiliars que ajudaven a obtenir el resultat observat experimentalment. Tanmateix, van obrir el camí que permetria, segles després, construir objectes òptics complexos com telescopis o microscopis.



Fresnel: la llum està formada per ones

Que la visió, la reflexió o la refracció s'expliquen, almenys en els casos senzills, considerant que la llum està formada per raigs, no aclareix un altre aspecte fonamental: Quina és la naturalesa de la llum? La llum és matèria? A principis del segle XVIII es va imposar la teoria corpuscular de la llum defensada per Newton, que considera que la llum està formada per partícules materials, concepció que va gaudir del recolzament de la major part dels científics de l'època. Però aquest recolzament estava basat, fonamentalment, en el prestigi de la figura de Newton, que la va defensar de manera menys dogmàtica que els seus deixebles. Un altre exemple de la concepció materialista de la llum el trobem en el món de la química, en A. M. Lavoisier, considerat el primer químic modern, que la va incloure en la seua classificació dels elements (que també incloïa l'èter).

A partir de 1820 aquesta concepció corpuscular es va veure fortament qüestionada. Thomas Young va portar a terme l'experiència d'interferència de la doble esclatxa, en què feia passar llum a través de dos orificis pròxims tot observant la imatge que es produïa sobre una pantalla. Si la llum estiguera formada per partícules, la imatge consistiria en dos franges de llum, corresponents a les partícules que passen per cadascuna de les esclatxes. Però el que s'observa és completament diferent: unes línies lluminoses separades per zones completament fosques. Aquest resultat és fàcil d'interpretar si es considera la llum com una ona.



En la part superior s'observa un punter làser en incidir sobre una pantalla. En la part inferior s'observa la llum del mateix punter en incidir sobre la pantalla quan s'ha posat una doble esclatxa: hi ha unes zones il·luminades separades per unes altres completament fosques.

A. Fresnel (1788-1827) va fer una aportació similar a la de Young. Fresnel va acceptar el repte de S. Poisson, partidari de la concepció corpuscular de la radiació, que havia deduït, fent ús de les equacions de les ones, que si es posa un disc xicotet en el recorregut d'un feix lluminós s'hauria d'observar en una pantalla situada darrere del disc un punt lluminós en el centre de l'ombra del disc, com a conseqüència de l'efecte de difracció del cantó del disc sobre les ones lluminoses. Evidentment, Poisson esperava que el punt lluminós no s'observara, però quan Fresnel va portar a terme l'experiment s'hi va poder observar el punt lluminós en el centre de l'ombra.



S'observa una zona lluminosa en el centre de l'ombra d'una moneda.

Ambdues experiències obren un camí que es consolidaria durant el segle XIX, al qual James Clerk Maxwell faria una altra aportació cabdal.

Maxwell: les vibracions del camp electromagnètic i la llum

La contribució més destacada de James Clerk Maxwell (1831-1879) no té els seus orígens en fenòmens relacionats amb la llum, sinó amb els efectes dels corrents elèctrics i dels imants. Des de principis del segle XIX diversos científics havien fet contribucions fonamentals en l'estudi de l'electricitat i el magnetisme: Hans Christian Oersted havia comprovat que un corrent elèctric produeix un efecte magnètic capaç de canviar la direcció en què apunta una brúixola pròxima, André-Marie Ampère havia constatat que dos corrents elèctrics podien interactuar mútuament i que aquesta interacció era la mateixa que produïa un imant, Michael Faraday havia aconseguit produir un corrent elèctric a partir d'una acció magnètica i també havia comprovat que en fer passar un corrent elèctric a través d'una bobina es generava en una altra bobina pròxima un corrent elèctric durant un breu període de temps.

La contribució de Maxwell, que el converteix en un dels científics més importants de la història, va ser la unificació de totes les contribucions sobre l'electricitat i el magnetisme, que va anomenar «equacions generals del camp electromagnètic».

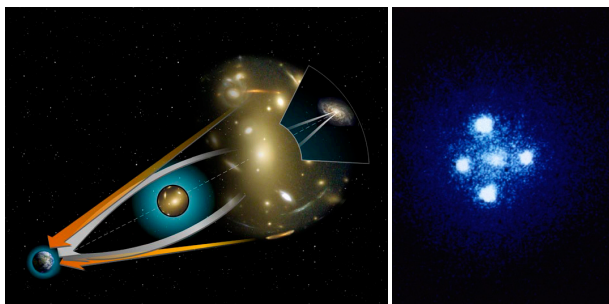
I quina relació té l'electricitat i el magnetisme amb la llum? Maxwell va anar més enllà, i va demostrar que les equacions es podien combinar per arribar a l'equació d'una ona que es propaga a la velocitat de la llum. Arribat a aquest punt, va ser inevitable pensar que la llum no era més que una ona electromagnètica, vibracions d'un camp electromagnètic similar al que permet l'acció dels imants o el flux d'electricitat a través dels cables de coure. Va ser Hertz qui va produir i detectar ones electromagnètiques per primera vegada en 1888, confirmant així la teoria i les prediccions de Maxwell.

Einstein: el replantejament de tot plegat

Albert Einstein (1879-1955) és, sens dubte, la figura més mediàtica de totes les ací exposades. El seu treball no va destacar precisament per donar suport a les concepcions sobre la llum que hem comentat, sinó per trencar amb elles. En 1905 introdueix, a tall d'hipòtesis, la possibilitat que la llum es propague en forma de paquets d'energia indivisibles, una imatge que recorda (tot i que és profundament diferent!) a la teoria corpuscular de Newton i que acabaria portant a l'establiment de la física quàntica. No dedicarem més a aquesta polèmica, ja que vam parlar d'ella, de manera extensa, en Dau al Deu número 4.



L'aportació de 1915 és radicalment diferent, i la fa en el marc de la nova teoria general de la relativitat. Tractarem d'explicar el trencament que introdueix a través d'algunes analogies. Tots sabem que si llancem un objecte cap amunt, en direcció vertical, aquest objecte cada vegada es mourà més lentament, fins parar-se i tornar a caure a terra. En canvi, si llancem un feix de llum cap amunt, en vertical, s'allunyarà de nosaltres a la velocitat de la llum, no frenarà. De fet, la llum ens arriba del Sol sempre a la mateixa velocitat, no va frenant a mesura que s'allunya d'ell com a conseqüència de la intensa atracció gravitatòria de l'astre rei. Fins ací tot «és normal», la gravetat no afecta a la llum perquè la llum no és matèria. També sabem que si llancem un objecte en horitzontal caurà cap a terra descrivint una trajectòria corba, en forma de paràbola. Així mateix, la Terra atrau la Lluna i el Sol atrau els planetes, tot corbant les trajectòries i fent que es moguen seguint camins el·líptics. I la llum? Cal esperar que es propague en línia recta tot i trobar-se a prop d'un astre amb una forta atracció gravitatòria, en tant que no té caràcter material. Però la relativitat general d'Einstein postula que no és així, i que els raigs de llum es corbaran de manera apreciable en passar a prop d'un astre massiu. I així es va comprovar que ocorria aprofitant l'eclipsi de Sol del 29 de maig de 1919, durant el qual es va constatar que la posició en què s'observaven els estels pròxims al disc solar canviava lleugerament, efecte que concordava amb la predicció feta en la teoria de la relativitat per a la curvatura que produeix el Sol sobre la trajectòria dels raigs de llum en passar a prop seu



La imatge esquerra és una representació artística de la curvatura dels raigs de llum procedents de galàxies llunyanes (fletxes blanques) produïda per un cúmul de galàxies més pròxim a la Terra. Com a conseqüència, les galàxies llunyanes es veuen en una posició desplaçada, com si els raigs arribaren en línia recta (fletxes roges). A la dreta observem aquest fenomen en una imatge captada pel Hubble (NASA).

Aquesta teoria, i la confirmació experimental, van tindre un gran impacte sobre la concepció de la llum i de l'univers. Per una banda, la llum, tot i no ser matèria, pot interaccionar gravitatòriament, però sense modificar el valor absolut de la seua velocitat, és a dir, sempre es mourà a la velocitat de la llum, la gravetat només pot corbar la trajectòria. Per una altra banda, i d'acord amb les lleis de la física, el camí seguit per la llum entre dos punts en l'espai és sempre el més curt. Per tant, hem de concloure que el camí corbat que segueix la llum en passar a

prop d'un astre massiu és el més curt, per anar d'un punt a un altre! De segur que heu sentit dir, alguna vegada, que els objectes massius produeixen curvatures en l'espai-temps, el «deformen», «estiren» o «comprimeixen». Aquestes «deformacions» són les responsables del lent pas del temps o de les imatges deformades dels astres i les naus espacials que observen els astronautes durant els seus viatges en algunes pel·lícules de ciència ficció (que no sempre aporten una visió correcta des del punt de vista científic).

Penzias i Wilson: el soroll del Big Bang

La història d'Arno A. Penzias (nascut el 1933) i Robert W. Wilson (nascut el 1936) res té a veure amb la naturalesa de la llum, sinó amb la història de l'univers. Comença quan la Bell Company els autoritzà, en 1964, a usar una gran antena de telecomunicacions per estudiar la Via Làctia. Aquesta antena havia estat construïda per l'enginyer Karl Jansky durant els anys 30 amb el propòsit d'investigar d'on procedia el soroll electromagnètic que interferia en les comunicacions intercontinentals. Jansky va arribar a la conclusió que part d'aquest soroll s'originava en l'atmosfera, però que una altra part s'originava en el centre de la Via Làctia. Penzias i Wilson van trobar que l'antena, a més dels senyals procedents del centre de la Via Làctia, també enregistra un soroll que era independent de la direcció en què s'apuntava, és a dir, semblava que venia de tot l'univers. No va ser fàcil trobar una explicació de l'existència d'aquest soroll, i més en una època en la que no existia un consens general sobre l'origen de l'univers. Actualment sabem que l'univers s'expandeix, i això implica que, originalment, les seues dimensions eren molt menors. També acceptem que va ser una gran explosió la que va engegar l'expansió, i va produir una enorme quantitat d'energia. Eixa energia emanava de tots els llocs de l'univers original, en totes direccions, com ocorre en qualsevol explosió que puguem observar a prop nostre, en la nostra vida quotidiana. A mesura que l'univers s'ha expandit, aquesta energia també ha anat difonent-se, fent-se més tènue, però continua present i procedeix de tots els punts de l'espai. Aquest és el soroll que van detectar Penzias i Wilson, i que els va valdre el premi Nobel de Física de 1978. Conegut actualment amb el nom de radiació còsmica de fons, s'investiga en gran profunditat des de fa diverses dècades, tot intentant aprofitar-la per descobrir en ella informació sobre l'estructura de l'univers primordial.

I en l'aspecte aplicat...

La dimensió aplicada de la llum és, de segur, molt més coneguda i va més enllà de la il·luminació. Un exemple és la fibra òptica. Des de la popularització d'Internet no hem deixat de sentir parlar d'aquest invent de 1965, un «cable» no metàl·lic que transmet la informació a gran velocitat. Per fer-ho, no fa ús d'electricitat sinó de pulsacions de llum, que es transmeten d'un extrem a un altre en cables de molts quilòmetres de distància. Aquesta aportació és de Charles Kuen Kao, i li va valdre el premi Nobel de Física el 2009.

