

LECTURA:

De la gènesi de l'article en què Einstein introduí la segona discontinuïtat quàntica i l'evolució del seu pensament sobre la natura de la llum.

*“Sobre un punt de vista heurístic relatiu a la producció i transformació de la llum”
 (“Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt” (AdP 17, 132 [17 pp.]; març de 1905))*

Entre 1902 i 1904, Einstein (que, aleshores, creava en llibertat lluny dels cercles acadèmics) publicà tres articles en què exposava una versió genuïna de la mecànica estadística en la línia de Boltzmann. En el tercer s'interrogava sobre les possibilitats de trobar un sistema físic adequat per tal de contrastar les prediccions teòriques dels seus mètodes estadístics amb els resultats experimentals. I així fou com arribà a la radiació del "cos negre" en equilibri tèrmic.

Del 1896, datava la Llei de Wien que, aleshores, hom sabia que no s'ajustava bé a les dades experimentals. El 1900, Planck havia deduït l'anomenada llei de Planck que sí que concordava amb els resultats experimentals, però que per tal de ser justificada teòricament, requeria dels mètodes estadístics de Boltzmann i implicava com a condició suficient la hipòtesi quàntica: l'energia intercanviada pels oscil·ladors de Planck era múltiple del quàntum elemental $\epsilon_0 = h \cdot \nu$.

En aquest context, el 1905, Einstein publica el seu article *“Sobre un punt de vista heurístic relatiu a la producció i transformació de la llum”*.

Einstein, després de criticar certes incoherències per ell detectades en la contribució de Planck, desplegà la seva imaginació cap a la utilització enginyosa d'una analogia formal entre un gas format per molècules i la radiació del cos negre.

En la introducció de l'article ja anticipava les seves originals idees:

“Certament, em sembla que les observacions associades a la “radiació negra”, la fotoluminiscència, la producció de raigs catòdics per llum ultraviolada i d'altres grups de fenòmens relacionats amb la producció i la transformació de llum poden entendre's millor si hom suposa que l'energia de la llum està distribuïda discontinuament per l'espai. D'acord amb la hipòtesi que admetrem en aquest treball, quan un raig de llum emergeix des d'un punt, l'energia no està contínuament distribuïda sobre un espai cada vegada major, sinó que consisteix en un nombre finit de quanta d'energia que estan localitzats en punts de l'espai, que es mouen sense dividir-se, i que només poden ser absorbits o produïts com un tot”.

La línia de raonament seguida per Einstein fou la següent. De primer, va obtenir la variació d'entropia d'un gas ideal sotmès a una transformació reversible del seu volum a temperatura constant. Després, va repetir el càlcul per al mateix procés però amb la radiació en comptes del gas i suposà vàlida la ja força obsoleta Llei de Wien. La comparació formal d'ambdós resultats permeté Einstein arribar a una conclusió transcendent:

“La radiació monocromàtica de baixa densitat (dins del rang de validesa de la fórmula de Wien) es comporta del del punt de vista de la teoria de la calor com si estés constituïda per quanta d'energia independents els uns dels altres, de magnitud $h \cdot \nu$ [en notació actual]”

Una qüestió important: per a Einstein l'existència dels quanta no era una hipòtesi ni una condició suficient -al contrari que per a Planck- sinó que era un resultat deduïble del comportament experimental de la radiació sempre que hom atribuís certa validesa metodològica a la utilització de l'analogia.

Aquesta diferència essencial entre el *quàntum suficient* i el *quàntum necessari*

d'Einstein tingué molt a veure amb el diferent grau d'acceptació dels respectius tractaments.

Una altra puntualització: si bé, en aquest article, Einstein proporcionà per primera vegada, una explicació completa i senzilla de l'efecte fotoelèctric, cal assenyalar que només fou una de les tres aplicacions que l'autor proposà per tal de mostrar les conseqüències mesurables de la seva hipòtesi quàntica de la radiació electromagnètica. Les altres dues aplicacions foren: la regla de Stokes per a la luminiscència i la ionització de gasos mitjançant llum ultraviolada.

La conclusió d'Einstein sobre el caràcter discret de l'intercanvi d'energia entre matèria i radiació atemptava contra la ja consolidada teoria electromagnètica de Maxwell que portava implícita el caràcter continu de la propagació de l'energia a través de l'espai. Planck hi estava totalment en desacord.

Però Einstein no s'aturà: el seu interès a desvetllar la veritable naturalesa de la radiació, es manifestà en una vintena d'articles publicats durant els deu anys següents, amb un doble objectiu. D'una banda, era prioritari convèncer, i convèncer-se, de la necessitat d'admetre algun tipus de comportament discret per a la radiació.

D'altra banda, Einstein no prou satisfet, volia fer compatible el caràcter discret de la radiació -propi de partícules materials- amb el caràcter continu -propi de les ones- que l'electromagnetisme assignava a la radiació. Una tasca gairebé impossible atès que, per a una gran majoria, ambdós comportaments eren mútuament excloents.

Basant-se en un dels seus habituals experiments mentals, Einstein, si bé no va acabar de resoldre completament cap dels dos problemes, sí que en féu progressos notables. En efecte, deprés de profetitzar el 1909 la dualitat ona-còrpuscle per a la llum, el 1916 "elevà" els quanta de llum, simples unitats elementals de bescanvi d'energia, a la categoria d'autèntiques partícules (còrpuscles de llum), aquelles que anys més tard foren anomenades fotons.

Però, malgrat tot, caldria esperar fins al 1923 per tal que la comunitat científica comencés a acceptar majoritàriament l'existència del fotó.

REFERÈNCIA :

Navarro Veguillas, L. (2004). Einstein y los comienzos de la física cuántica: de la osadía al desencanto. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA. Lo que debemos a Einstein. Monográfico. Noviembre 2004. (pp.41-45)

QÜESTIONS:

- 1.- En quina prestigiosa revista publicà Einstein l'article al que fa referència la lectura anterior?
- 2.- Quants articles hi publicà el mateix any? Ordena'ls cronològicament tot citant-ne el nom, les línies argumentals i les conseqüències més importants per a la Física moderna.
- 3.- Per què s'ocupà Einstein de la "radiació del cos negre"? Explica breument en què consisteix aquest fenomen.
- 4.- Quines dues lleis -citades en el text- intentaven explicar l'espectre d'energia del cos negre? Quina és la millor? Per què?
- 5.- Quina disciplina teòrica de la física utilitzà Einstein per elaborar el contingut d'aquest article?
- 6.- Què significa "heurístic"? Quin grau de validesa se li pot atorgar a un raonament d'aquest tipus?
- 7.- Quina metodologia utilitzà Einstein per arribar a l'elaboració i conclusions d'aquest article? Cerca algun altre exemple històric d'aquest tipus de raonament que s'hagi utilitzat en física.
- 8.- Per què podem afirmar que Einstein introduí la segona discontinuïtat quàntica? Per què sovint s'afirma que Einstein anà (el 1905) més enllà que Planck?
- 9.- Quina conclusió agosarada –ell mateix la qualificà de revolucionària- obtingué Einstein com a resultat de la seva comparació? Per què no agradà a la immensa majoria de físics de l'època?
- 10.- Quina diferència essencial hi ha entre el *quàntum suficient* de Planck i el *quàntum necessari* d'Einstein?
- 11.- Quin conegut fenomen interpretà Einstein com a conseqüència mesurable de la seva hipòtesi quàntica de la radiació electromagnètica? Enumera algunes de les aplicacions tecnològiques d'aquest fenomen.
- 12.- Explica com i quan "elevà" Einstein el quàntum de llum a la categoria de fotó o corpuscle de llum. Quines magnituds són característiques d'un fotó? Qui va posar-li aquest nom? Què significa?
- 13.- Per què la comunitat científica es resistia a admetre l'existència dels fotons? Creus que aquesta actitud és habitual? En recordes algun altre exemple?
- 14.- Quin fet experimental -i la consegüent explicació teòrica- suposaren la majoritària acceptació de l'existència dels fotons per part de la comunitat científica?
- 15.- Què significa la dualitat ona-corpuscle? A quins ens físics és aplicable aquesta dualitat?
- 16.- Informa't i explica per què Einstein -que tant contribuí al naixement de la teoria quàntica- se'n desencantà i s'automarginà científicament en el decurs dels anys.