

Setmana de la Ciència

Referències per al concurs FotoQuàntica

Col·legi Sant Josep

Curs 2019 - 2020

Introducció teòrica

Referència 1

Tot està fet d'ones i de partícules, a la vegada

Tot, en l'univers, es comporta com una ona i com una partícula a la vegada, inclosa la taula on escriviu cadascun de vosaltres – les vostres taules, però, són massa grans com perquè la seva naturalesa ondulatoria sigui observable. Aquest principi s'anomena dualitat ona-corpúscle. És clar que descriure els objectes de la realitat com a fets d'ones i de partícules a la vegada és una mica imprecís; parlant amb més exactitud, els objectes que descriu la física quàntica no són ni ones ni partícules, sinó un tercer tipus d'objecte que té algunes propietats de les ones (una freqüència, una longitud d'ona...) i algunes propietats de les partícules (en general, aquests objectes es poden comptar i es poden localitzar en l'espai amb certa precisió – però no amb precisió total).

Aquest “tercer tipus” de naturalesa que tenen els objectes segons la mecànica quàntica implica que, a vegades, el llenguatge dels físics en parlar de mecànica quàntica pot ser confús. El bosó de Higgs es va descobrir al Gran Col·lisionador d'Hadrons com una partícula, però alguns físics parlen del “camp de Higgs” com un fenomen no localitzat que omple una regió de l'espai – o sigui, una ona. El mateix passa amb la llum; a vegades es tracta la llum com una ona amb una freqüència determinada, i a vegades es tracta la llum com un seguit de partícules anomenades fotons amb una posició i un moviment determinats. En definitiva, la matèria té una naturalesa amb ingredients d'ona i amb ingredients de partícula, i en diferents situacions serà convenient tractar un objecte concret com una ona o com una partícula.

Referència 2

La mecànica quàntica és discreta (no contínua)

De fet, el mateix nom d'aquesta branca de la física (mecànica quàntica) ja ens en dona una pista; “quàntic”, del llatí “quanta”, significa “una part o porció”. Aquest nom reflecteix el

fet que, en els models de la mecànica quàntica, sempre hi ha alguna cosa que ve donada de forma discreta; o sigui, en quantitats finites, no progressiva.

Per exemple, l'energia en un camp quàntic sempre serà un múltiple d'una certa quantitat d'energia fonamental. Com a exemple de camp quàntic, podem pensar en la llum; per a un raig de llum concret, aquesta energia fonamental està associada a la freqüència (o a la longitud d'ona) de la llum d'aquest raig, i l'energia continguda en un camp de llum concret és sempre un múltiple d'aquesta energia fonamental; 1, 2, 3, 4... vegades l'energia fonamental, però mai una fracció com $1/2$, o un irracional com π , o $\sqrt{2}$. Aquesta característica també s'observa, per exemple, en el fet que els nivells d'energia que un electró pot ocupar dins un àtom són discrets; alguns nivells (alguns valors d'energia) estan permesos, i d'altres no. Els rellotges atòmics funcionen gràcies a la naturalesa discreta de la mecànica quàntica, utilitzant la freqüència de la llum associada amb la transició entre dos nivells d'energia permesos dels àtoms de cesi (Cs). Així, podem definir la durada d'un segon de forma excepcionalment precisa; un segon és la durada de 9.192.631.770 períodes de la radiació corresponent a la transició entre els dos nivells hiperfins de l'isòtop de cesi 133.

De fet, els rellotges atòmics són tan precisos que mesuren el temps de forma més fiable que la terra. Durant al menys els últims 4000 anys la durada d'una rotació completa de la terra sobre si mateixa ha definit un dia, i la durada d'una rotació completa de la terra al voltant del sol ha definit un any. Malgrat tot, el moviment dels planetes no és tan regular com sembla, i la terra està desaccelerant (tot i que molt lentament). Per tal de coordinar l'hora atòmica amb l'hora astronòmica (la corresponent amb la rotació terrestre) cada un o dos anys s'afegeix un segon a l'hora atòmica; l'anomenat "segon de traspàs", o *leap second* en anglès. En definitiva, els rellotges atòmics mesuren el temps de forma tan precisa que els hem de desajustar per tal que coincideixin amb l'hora que ens dicta el planeta terra.

Referència 3

La mecànica quàntica és probabilista

Una de les característiques més sorprenents de la mecànica quàntica és la impossibilitat de predir amb certesa el resultat d'un experiment. Quan els físics fan una predicció sobre el resultat d'un experiment, no obtenen un resultat concret sinó una probabilitat per a cada possible resultat de l'experiment. Sembla ser, a més, que això és la millor predicció que podem fer; no és que ens falti coneixement per a poder fer prediccions més precises, sinó que els sistemes quàntics es comporten realment de forma probabilista.

La descripció matemàtica d'un sistema quàntic pren, típicament, la forma de l'anomenada "funció d'ona", que en general es representa amb la lletra grega psi: Ψ . Hi ha molt debat respecte *què* representa, exactament, la funció d'ona. Hi ha qui pensa que representa quelcom de la realitat, i hi ha qui pensa que és només una expressió del que nosaltres coneixem (aquest debat, entre els realistes i els anti-realistes científics, afecta a tots els camps de la ciència). Sigui com sigui, a través d'aquesta funció d'ona podem predir la probabilitat que un sistema quàntic estigui en un estat en particular (la probabilitat, per exemple, que un electró es trobi en una zona concreta).

Per tant, abans de fer cap mesurament experimental, el sistema que hem de mesurar es troba en un estat indeterminat (l'electró pot ocupar diferents zones, cadascuna amb la seva probabilitat); el model matemàtic per a representar això és una superposició dels diferents estats en que el sistema es pot trobar. Dit d'una altra manera, abans de fer qualsevol

mesurament, la posició de l'electró la coneixem com una superposició (una combinació) dels diferents llocs que pot ocupar. Què significa això? Significa potser que, abans de prendre una mesura, l'electró ocupa realment diferents posicions a la vegada, i quan el mesurem passa a ocupar-ne només una? O significa que l'electró està en una sola posició que desconeixem, i que quan la mesurem passem a conèixer-la? Aquest és un debat interessant que depèn de la nostra interpretació de la mecànica quàntica, i no hi ha consens avui en dia sobre quina de les múltiples interpretacions és la correcta (o la més correcta).

Aquest i altres debats sobrepassen l'àmbit de la ciència, ja que ens forcen a preguntar-nos quines implicacions tenen els descobriments científics en la nostra interpretació de la realitat. Com hem d'entendre el món que ens envolta? Què podem conèixer, si la realitat és, a nivell quàntic, un joc d'atzar? Si realment canviem la realitat quan la observem, aleshores sembla que no podem observar mai les coses tal com són (o tal com eren just abans que les observéssim); només observem una realitat que ja hem canviat amb la nostra pròpia observació, una realitat alterada, però mai podem observar la realitat que existia independentment de nosaltres abans de la nostra observació – si és que existeix una realitat independent de la nostra observació. Tot això són reflexions que escapen l'àmbit científic i que preocupen, actualment, a molts filòsofs.

Referència 4

La mecànica quàntica és no-local

En un article que Einstein escrigué el 1935 conjuntament amb Nathan Rosen i Boris Podolski, Einstein va proposar una formulació matemàtica d'un fenomen que feia temps que el preocupava, un fenomen que avui en dia anomenem entrellaçament quàntic (*quantum entanglement* en anglès).

El fenomen d'entrellaçament quàntic es pot entendre de manera prou intuïtiva a partir d'un exemple; un parell de partícules (fotons, electrons...) generades sota unes condicions especials (i, per tant, connectades) es poden allunyar tant com es vulgui l'una de l'altra, milers de kilòmetres, i seguiran connectades d'una manera molt especial. Els mesuraments que fem a una de les partícules determinaran el resultat dels mesuraments que fem en l'altra partícula; per exemple, si una partícula gira cap amunt, l'altra partícula girarà cap avall necessàriament, i viceversa. A més, qualsevol canvi en el sentit de gir (spin) d'una partícula afectarà *instantàniament* el sentit de gir de l'altra partícula de la parella. Així, sembla que el que mesurem en una partícula pot tenir efectes instantanis a l'altra punta del món.

Segons la mecànica clàssica, no hi ha res que pugui viatjar a velocitats majors que la velocitat de la llum, però sembla que aquests sistemes entrellaçats desafien aquesta limitació; si el que passa és que hi ha un intercanvi d'informació entre les dues partícules entrellaçades, aquest intercanvi hauria d'ocórrer a una velocitat major que la velocitat de la llum; sinó, fa falta explicar el fenomen d'alguna altra manera. S'expliqui com s'expliqui, la no-localitat és una característica ben sorprenent dels sistemes quàntics.

Referència 5

La mecànica quàntica tracta d'objectes molt petits

La mecànica quàntica és estranya perquè les seves prediccions desafien les nostres intuïcions. Això és així perquè estem acostumats a observar objectes macroscòpics (de mida “gran”) al nostre voltant, i els efectes quàntics van desapareixent conforme els objectes es fan grans. Per a observar efectes quàntics en la seva plenitud necessitem observar objectes que es comportin com a ones. Tots els àtoms de la matèria es comporten com a ones, el problema aquí és que un objecte macroscòpic (“gran”) està format per molts àtoms, i els efectes ondulatoris d'uns i altres àtoms es cancel·len mútuament. Podem entendre això amb una analogia; si en un llac tranquil hi llancem una sola pedra podrem observar clarament les ones que es desplacen per la superfície del llac; si, en canvi, cau una pedregada a sobre el llac i hi impacten centenars de pilotes de gel, els efectes “ondulatoris” de cada impacte es cancel·laran els uns amb els altres i ens costarà molt d'apreciar les ones que crea cada impacte; veurem moviment en la superfície del llac (de la mateixa forma que els nostres àtoms estan en constant vibració), però serà un moviment desordenat i més o menys homogeni, on no podrem observar cap front d'ona de forma clara. Per això (i d'altres raons relacionades) no podem observar el comportament ondulatori del nostre gos, o de la nostra taula.

Això significa que els fenòmens quàntics afecten, principalment, a objectes de mida igual o inferior a un àtom. Malgrat tot, els científics s'esforcen per a crear sistemes cada cop més grans on es puguin observar efectes quàntics, i aquests efectes ja es poden observar en objectes de la mida d'una molècula.

Referència 6

No us deixeu enganyar: la mecànica quàntica no és màgia

Energia gratuïta! Curació quàntica! Poders quàntics místics! Propulsió quàntica per a travessar galàxies senceres! – Això és falsa ciència, coneguda com a pseudociència.

La mecànica quàntica és difícil d'entendre (alguns físics diuen que, de fet, és impossible), i això fa que sigui fàcil pervertir aquesta branca de la física i aprofitar-se'n per a publicitar pràctiques gens científiques i de dubtosa moralitat. Si algú defensa una aplicació “quàntica” que sembla massa bona com per a ser certa, probablement no ho sigui.

Per molt estranya que sembli, la mecànica quàntica no és màgia; és ciència. Les seves prediccions semblen estranyes, però estan recolzades per models matemàtics complexos que estan ben estudiats i comprovats empíricament. Això no significa que amb la mecànica quàntica no es puguin fer coses fantàstiques, però aquestes coses fantàstiques respectaran les lleis de la termodinàmica (i el mètode científic).

Experiments i aplicacions

Referència 7

El gat de Schrödinger

El gat de Schrödinger, o la paradoxa del gat, és un experiment mental publicat pel físic Erwin Schrödinger (1935) per tal d'il·lustrar la complexitat d'algunes interpretacions al voltant de la mecànica quàntica, en traduir les conseqüències d'esdeveniments subatòmics a sistemes macroscòpics.

L'experiment original consisteix a posar un gat dins d'una caixa d'acer tancada i opaca juntament amb els següents elements (que han d'estar protegits de qualsevol interferència directa del gat): un comptador Geiger (que mesura la radiació emesa) i una certa quantitat d'una substància radioactiva que asseguri que en el decurs d'una hora hi hagi un 50% de probabilitats que almenys un dels àtoms es desintegri (i un 50% que no se'n desintegri cap); si un àtom es desintegra, el comptador Geiger el detecta i acciona un mecanisme que trenca un flascó d'àcid cianhídric (que és un gas molt tòxic) que matarà el gat.

En aquest escenari, tant el gat com la partícula depenen d'un sistema regit per les lleis de la mecànica quàntica. Seguint el principi d'incertesa que s'aplica a la interpretació de Copenhaguen, mentre no obrim la caixa, el gat és viu i alhora és mort (es troba en una superposició dels dos estats). En el moment precís d'obrir la caixa, el mateix fet de l'observació modifica l'estat del gat, que passa a ser només viu o només mort.

Interpretacions de l'experiment

Seguint la *interpretació de Copenhaguen*, en el moment en què s'obre la caixa, la sola acció d'observar modifica l'estat del sistema tal que ara s'observa un gat viu o un gat mort. Aquest col·lapse de la funció d'ona és irreversible i inevitable en un procés de mesura.

En la *interpretació dels «molts mons»*, formulada per Hugh Everett el 1957, el procés de mesura suposa una ramificació en l'evolució temporal de la funció d'ona, o sigui, es crea una ramificació en l'univers; en obrir la caixa creem dos universos paral·lels, un on el gat és viu, i un on el gat és mort.

En la *interpretació del col·lapse objectiu*, la superposició d'estats es destrueix malgrat que no es produeixi observació, diferint les teories sobre quina és la magnitud física que provoca la destrucció (temps, gravitació, temperatura, termes no lineals en l'observable corresponent).

La ciència ens pot donar lleis i prediccions sobre el que passarà en un cert àmbit de la realitat, però la ciència no ens pot ajudar a decidir com interpretem aquestes lleis i aquestes prediccions; per a fer això necessitem la filosofia, i aquesta necessitat es fa especialment evident en intentar interpretar uns resultats tan xocants com els de la mecànica quàntica.

Referència 8

Computació quàntica; un càlcul de 10.000 anys en 3 minuts i 20 segons

Un ordinador quàntic és un dispositiu de càlcul que fa ús dels fenòmens específics de la

mecànica quàntica, tals com la superposició i l'entrellaçament, per executar operacions sobre dades. Els ordinadors quàntics aprofiten la capacitat dels sistemes quàntics d'estar en dos estats simultàniament. En comptes de fer servir bits que tenen el valor 0 o 1, fan servir qubits (bits quàntics) que tenen una superposició dels dos valors. Processant simultàniament aquestes dades, un ordinador quàntic resulta exponencialment més ràpid que un de clàssic. Els ordinadors quàntics de suficient capacitat seran capaços de resoldre càlculs de complexitat intractable per a un ordinador convencional. Així com un ordinador clàssic equival a una màquina de Turing, un ordinador quàntic equival a una màquina de Turing no determinista, en oferir, per a una determinada operació elemental, tot el conjunt de transicions possibles simultàniament.

Article de l'ABC del 24/09/2019: Google dice haber alcanzado la supremacía cuántica

El ordenador cuántico del famoso buscador habría realizado un cálculo más allá del alcance del procesador más avanzado del mundo. El anuncio fue publicado y después eliminado en una web de la NASA

Un equipo de investigadores de Google dice haber alcanzado la supremacía cuántica por primera vez. El diario británico Financial Times filtró el pasado viernes un borrador de un artículo de investigación de la compañía californiana publicado en una web de la NASA, en el que explicaba que su ordenador cuántico había sido capaz de realizar una tarea que está más allá del alcance del superordenador convencional más poderoso. El anuncio fue posteriormente retirado de forma misteriosa, sin aparentemente ninguna explicación.

Google utiliza superordenadores de la NASA como puntos de referencia para sus experimentos de supremacía. Según el documento, el procesador cuántico del famoso buscador realizó un cálculo en 3 minutos y 20 segundos, un trabajo que a la supercomputadora más avanzada del mundo, conocida como Summit, le llevaría alrededor de 10.000 años. El experimento supondría «el primer cálculo que solo se puede realizar en un procesador cuántico».

A principios de la década de 1980, Richard Feynman propuso que una computadora cuántica sería una herramienta eficaz y mucho más barata para resolver problemas en física y química. En el artículo, los investigadores aseguran haber hecho realidad ese sueño de la física: «Nuestro experimento marca un hito hacia la computación cuántica a gran escala: la supremacía cuántica». Y añaden: «Al alcanzar este hito, mostramos que la aceleración cuántica se puede lograr en un sistema del mundo real y no está impedida por ninguna ley física oculta». Sin embargo, Google no se ha pronunciado sobre el documento, que parece que no estaba destinado a ver la luz.

Como el vuelo de los Wright

Como explica el MIT Technology Review, los ordenadores cuánticos son tan potentes porque aprovechan los bits cuánticos o qubits. A diferencia de los bits clásicos, que representan un 1 o un 0, los qubits pueden estar en una especie de combinación de ambos al mismo tiempo. Gracias a otros fenómenos cuánticos, estas máquinas pueden procesar grandes cantidades de datos en paralelo que las convencionales tienen que procesar de forma secuencial.

De confirmarse, el logro del gigante de internet sería algo fantástico. Will Oliver, profesor del MIT y especialista cuántico, compara ese hito informático con lo que supuso el primer vuelo de los hermanos Wright para la aviación. Además, el inmenso poder de procesamiento podría ayudar a los investigadores y las empresas a descubrir nuevos medicamentos y materiales, y potenciar la inteligencia artificial y el aprendizaje automático.

Un solo ordenador cuántico equivale a un número gigantesco de ordenadores convencionales, pero esto no significa necesariamente que vayan a ser sustituidos. Dario Gil, de IBM y también experto en el mundo cuántico, dice a la revista del MIT que ambos tipos de ordenadores «trabajarán en concierto, ya que cada uno tiene sus puntos fuertes». A su juicio, muchos problemas seguirán necesitando de las computadoras clásicas para ser resueltos. Precisamente, la compañía anunció hace algunos días que ya tiene listo un nuevo ordenador cuántico con propósito comercial con una capacidad de 53 qubits.

El mínimo error

La computación cuántica todavía tiene que resolver un buen número de problemas. Las máquinas son propensas a sufrir pequeñas perturbaciones que pueden modificar la información y falsear el resultado del cálculo. Incluso el más mínimo cambio de temperatura, o una pequeña vibración, puede destruir el delicado estado de los qubits. Los errores se pueden propagar rápidamente y desestabilizar el ordenador. Los investigadores trabajan para hacer que estas máquinas sean más fiables y sencillas. Aunque algunas ya están disponibles a través de la nube informática, todavía podrían pasar muchos años, probablemente décadas, antes de estar ampliamente disponibles. Google puede haber dado un primer paso fundamental en ese camino.

Referència 9

Dualitat ona-corpúscle: introducció

Des de sempre la llum ha estat un dels grans misteris de la ciència. La humanitat s'ha demanat des dels seus orígens què era, atorgant-li origen diví. Malgrat tot, l'esperit científic, poc a poc i després de nombrosos experiments, ha aconseguit donar una explicació a la pregunta inicial; què és la llum?

Seguidament repassarem les diferents teories que s'han proposat al llarg de la història per acabar definint la que actualment es pren per bona: la dualitat ona - corpúscle.

Com veus, el seu nom engloba dos conceptes diferents, d'una banda el caràcter ondulatori (ona) i per una altre costat el material (corpúscle). Mirarem de treure'n l'entrellat.

El model de Huygens

Christian Huygens va proposar un model ondulatori de la llum basant-se en les ones mecàniques que tant havia estudiat. Va comprovar que la llum complia a la perfecció les lleis de la reflexió i la refracció. L'únic inconvenient era la necessitat de postular l'existència d'un medi material per a què aquestes ones es poguessin transmetre per l'espai.

Aquest medi proposat fou l'èter. Si la llum era una ona mecànica necessitava un medi per on propagar-se, i aquest medi ho havia d'envoltar absolutament tot. Lògicament, aquesta proposta presentava inconvenients perquè aquest medi no s'havia pogut detectar i això implicava definir-lo de manera molt rebuscada. Aquest model va ser rebutjat per Isaac Newton, qui va proposar un model corpuscular.

El model de Newton

Isaac Newton és considerat el pare de la Física Clàssica pels seus treballs (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) que van forjar les lleis de la dinàmica que tots hem estudiat.

A partir d'aquests treballs va proposar que la llum estava formada per petites partícules amb una velocitat definida. El fet d'assignar dimensions i velocitat a aquestes hipotètiques partícules fou revolucionari.

A partir de l'estudi dels xocs es pot explicar i raonar perfectament el fenomen de la reflexió. La refracció l'explicava Newton a partir de la diferent velocitat de les partícules de la llum al travessar diferents medis. Com Huygens, Newton pressuposà l'existència de l'èter.

Donada l'autoritat científica que representava Newton, durant anys les seves idees van ser àmpliament compartides per la comunitat científica, però també li van sortir detractors. La principal objecció a la teoria de Newton fou el fet de suposar que la llum estava formada de partícules i, per tant, la llum havia de tenir massa. Un experiment molt senzill va desmuntar la seva teoria.

Sobre una balança i dins d'una campana de vidre s'encenia una espelma; mentre hi havia oxigen la flama emetia llum però la balança sempre marcava el mateix valor. La pregunta que Newton no va saber respondre fou: si la llum està composta de partícules (amb massa), com és que al sortir la llum la balança no perd massa?

L'experiment de Young, o experiment de la doble esclatxa

Thomas Young va acabar per deixar obsoleta i sense fonament la teoria corpuscular de Newton. El seu famós experiment consistia en provocar una doble difracció de la llum, fent passar una ona de llum quasi plana per dues esclatxes molt fines i molt juntes l'una de l'altra. Així va aconseguir crear un patró d'interferències constructives i destructives.

Les interferències constructives donaven llum però les interferències destructives donaven ombra. Com podia ser que "llum + llum" donés foscor? Aquest fet era totalment inexplicable per la teoria corpuscular de Newton, ja que si la llum està formada per partícules, no hi ha cap manera en la qual dues partícules es puguin fer desaparèixer l'una a l'altra.

L'efecte fotoelèctric

Com et pots imaginar, l'alegria dels defensors de la teoria ondulatoria de la llum va durar poc. A les acaballes del segle XIX es va posar sobre la taula un nou problema, l'efecte fotoelèctric. Aquest efecte es produïa en irradiar una superfície metàl·lica amb llum a una determinada freqüència. Quan aquesta freqüència era superior a un valor anomenat *llindar*, de la superfície metàl·lica en sortien disparats electrons.

És a dir, la llum era capaç d'arrancar electrons d'una superfície metàl·lica, però només si aquesta llum tenia una freqüència per sobre de la freqüència llindar. Hi havia, a més, altres aspectes d'aquest fenomen que no es podien explicar. Per exemple, quan s'augmentava la intensitat de la font de llum (es donava més energia) els electrons arrancats no adquirien més energia cinètica (més velocitat), sinó que s'arrancaven més electrons i tots agafaven la mateixa velocitat. D'altra banda, si s'augmentava la freqüència de la llum, mantenint constant la intensitat de la font, els electrons desplaçats eren els mateixos però ara tenien molta més energia cinètica; la seva velocitat havia augmentat. Tots aquests fets van desconcertar la comunitat científica, excepte a un jove Albert Einstein, qui, amb l'ajuda dels treballs de Max Planck, va ser capaç de donar una explicació als fets.

L'aportació d'Einstein

Parlar d'Albert Einstein és parlar de relativitat, de temps i distàncies que s'allarguen o contrauen sense pietat, però una de les seves contribucions més importants a la ciència fou

precisament donar una explicació a l'efecte fotoelèctric. Per aquest motiu fou mereixedor del premi Nobel l'any 1921.

L'explicació d'Einstein incloïa una reformulació de la teoria que pretenia explicar la naturalesa de la llum. Per a sorpresa de tothom va recuperar el matís corpuscular que anys enrere havia proposat Newton. Einstein va aprofitar els treballs de Max Planck, qui havia proposat que la radiació electromagnètica era la propagació a l'espai d'un camp electromagnètic on l'energia es transmetia en forma de petits paquets d'energia. Einstein va anomenar aquests paquets *fotons*, i va determinar que cada fotó tenia una energia *quantitzada* i determinada que valia $E = h \cdot f$ [J] (on la constant de Planck h val $6.62 \times 10^{-34} J \cdot s$, i f és la freqüència de la llum en *Hz*).

Si aquesta energia és igual o superior a la necessària per arrencar un electró de la superfície del metall, aquest electró és extret. Si l'energia necessària és menor que l'energia del fotó incident, l'excés d'energia es transforma en energia cinètica de l'electró. Per tant, si la intensitat de la font augmentava arribaven més fotons a la superfície metàl·lica i més electrons podien ser extrets, resultant invariable la velocitat amb la que sortien. D'altra banda, si s'augmentava la freqüència de la radiació incident, l'energia dels fotons augmentava proporcionalment i per tant els electrons arrancats obtenien més energia cinètica. Quedava tot explicat.

La teoria definitiva

Finalment Einstein va concloure que la llum tenia dos comportaments paral·lels, aparentment contradictoris però que va demostrar que no eren excloents. Efectivament, i tal com anys enrere havien demostrat Huygens, Young, Hertz, Maxwell i d'altres, la llum tenia un comportament ondulatori quan es propagava per l'espai. No necessitava de cap medi (es podia propagar pel buit) ja que es tractava de la propagació d'un camp electromagnètic. Així doncs, la suposada existència de l'èter fou definitivament esborrada de les converses científiques. D'altra banda, Einstein va incorporar un aspecte revolucionari; la llum també tenia un cert caràcter corpuscular. Quan interactuava amb la matèria ho feia com si estigués formada per petites partícules, partícules sense massa però amb una energia definida; aquestes partícules, els *fotons*, es van definir com uns paquets d'energia.

Aquest comportament dual de la llum – ona quan es desplaça, corpuscle quan interactua amb la matèria – és el que es coneix com a *dualitat ona - corpuscle*.

Cites

Referència 10

Las matemáticas poseen no sólo la verdad, sino cierta belleza suprema. Una belleza fría y austera, como la de una escultura.

– Bertrand Russell

Referència 11

¿Cómo puede ser que la Matemática, siendo al fin y al cabo un producto del pensamiento humano independiente de la experiencia, esté tan admirablemente adaptada a los objetos de la realidad?

– Albert Einstein

Referència 12

Necesitamos especialmente de la imaginación en las ciencias. No todo es matemáticas y no todo es simple lógica, también se trata de un poco de belleza y poesía.

– Maria Montessori

Referència 13

Hem d'abandonar el sentit comú per tal de percebre el que està succeint a nivell atòmic.

– Richard Feynman

Referència 14

Quan es tracta d'àtoms, el llenguatge serveix només com a poesia. El poeta no està tan preocupat en descriure els fets com en crear imatges i establir connexions mentals.

– Niels Bohr

Referència 15

Crec que la consciència és fonamental. Crec que tot assumpte deriva de la consciència. Tot el que parlem, tot el que considerem com existent, és dictat per la consciència.

– Max Planck

Referència 16

Fins i tot la gent que afirma que no podem fer res per a canviar el nostre destí mira a banda i banda abans de creuar el carrer

– Stephen Hawking

Referència 17

En la física moderna no existeix el “no-res”. Fins i tot en el buit més perfecte hi ha parells de partícules virtuals que s’estan creant i destruint constantment. L’existència d’aquestes partícules no és cap ficció matemàtica; malgrat no es puguin observar directament, els efectes que creen són reals.

– Richard Morris

Referència 18

... el actual método de analizar separadamente las diferentes partes que constituyen el mundo no funciona muy bien en la física moderna. Se demuestra que, tanto en la teoría de la relatividad como en la teoría cuántica, unas nociones que supusieran la totalidad no dividida del universo proporcionarían un método mucho más ordenado para considerar la naturaleza general de la realidad.

– David Bohm

Referència 19

Si se calculara la cantidad de energía que existe en un centímetro cúbico de espacio vacío, hasta la longitud de onda más corta posible, resultaría ser mucho mayor que la energía total de toda la materia que existe en el universo conocido. Lo que supone nuestra propuesta es que lo que llamamos espacio vacío contiene un fondo inmenso de energía, y que la materia, tal como la conocemos, es una pequeña excitación «cuantizada»; en forma de onda, que se eleva sobre este fondo de un modo bastante parecido al de un pequeño rizo sobre un vasto mar.

– David Bohm

Referència 20

La teoría cuántica vino así a demoler los conceptos clásicos de los objetos sólidos y de las leyes estrictamente deterministas de la naturaleza. A nivel subatómico, los objetos materiales sólidos de la física clásica se diluyen en patrones de probabilidad semejantes a las ondas, y estos patrones, finalmente, no representan probabilidades de cosas, sino más bien probabilidades de interconexiones.

– Fritjof Capra

Referència 21

A aquestes alçades estic convençut que la física teòrica és, en realitat, filosofia. Ha revolucionat conceptes fonamentals com l'espai i el temps, la causalitat, la matèria. Ens ha ensenyat noves maneres de pensar que són aplicables més enllà de la física.

– Max Born.

Referència 22

Hemos llegado al final de nuestro viaje por los abismos de la materia. Buscábamos un suelo firme y no lo hemos encontrado. Cuanto más profundamente penetramos, tanto más inquieto, más incierto y más borroso se vuelve el Universo.

– Max Born

Referència 23

Si tinguéssim un coneixement perfecte de les lleis físiques que regeixen el món; podríem predir amb exactitud si una moneda al aire cauria en cara o creu? Dit d'altra forma: existeix l'atzar? O quan alguna cosa sembla aleatòria és simplement que ens falta informació sobre el que està passant?

Déu no juga als daus

– Albert Einstein

En aquesta cita, Einstein suggereix que l'atzar objectiu no existeix; tot el que ens sembla atzar, ens ho sembla perquè no ho coneixem del tot, ens falta informació, és un atzar aparent o atzar *subjectiu*.

Einstein, deixa de dir-li a Déu què fer amb els seus daus

– Niels Bohr

En aquesta cita, Bohr suggereix que l'atzar objectiu sí que existeix, tal com recolzen múltiples experiments en mecànica quàntica; sembla que hi ha events que no podem predir, per més informació que tinguem. La natura, en última instància, és aleatòria.

Referència 24

Para aquellos que no conocen las matemáticas, es difícil sentir la belleza, la profunda belleza de la naturaleza... Si quieres aprender sobre la naturaleza, apreciar la naturaleza, es necesario aprender el lenguaje en el que habla.

– Richard Feynman

Referència 25

La ciència no pot resoldre el misteri final de la natura. I això es deu al fet que, en última instància, nosaltres mateixos som una part del misteri que estem intentant resoldre.

– Max Planck

Referència 26

Ni tan sols la pròpia naturalesa sap quin camí seguirà l'electró

– Richard Feynman

Referència 27

Existeix l'univers si ningú el mira?

– John Wheeler