

# QUÀNTICA.

## A LA RECERCA DE L'INVISIBLE

### POSSIBILITATS EDUCATIVES

---

**L'exposició «Quàntica» ens aporta les claus per entendre els principis de la física fonamental i ho fa a través del treball creatiu conjunt de científics, divulgadors i artistes. El projecte convida el públic a explorar els nous paradigmes de la ciència moderna, encuriosir-s'hi i valorar-los críticament.**

La mecànica quàntica descriu una realitat present al món sensible però que queda oculta als nostres sentits. Tot i que d'entrada pot resultar una disciplina difícil de comprendre, la mecànica quàntica explica molts dels avenços tecnològics dels darrers anys que afecten el nostre dia a dia i que seran determinants en el futur de la humanitat.

La mecànica quàntica descriu la naturalesa amb una precisió exquisida. És una proesa intel·lectual de la humanitat, d'un abast que seguim intentant comprendre en tota la seva profunditat. Tothom que s'endinsa en la seva formulació detallada sofreix el vertigen de posar en qüestió els seus prejudicis.

Què és saber? Què és mesurar? Quins límits té el coneixement? Existeix l'atzar intrínsec, genuí, incondicional? Les preguntes s'amunteguen sense parar. No és necessari cap aparell matemàtic per comprendre la revolució de la lògica quàntica. Les grans qüestions relatives a la informació, o a l'atzar, es toquen amb els dits. La ciència més dura frega aquí l'ànima humana. El repte intel·lectual requereix intuïció, creativitat extrema. Els camins dels científics i els artistes s'encreuen, perquè el rigor i la sensació d'abisme no són incompatibles, són la norma.

Aquesta exposició recull les obres dels deu artistes internacionals que, dins el programa Arts at CERN, van seguir de prop la vida i les investigacions dels científics que treballen al centre. Aquestes peces es van presentar al FACTS de Liverpool i ara, al CCCB, s'exhibeixen acompanyades d'un discurs científic que ens vol acostar als descobriments de la física quàntica.

**Els límits de la realitat, l'eficiència del llenguatge, el sentit de la ciència o l'atzar són qüestions que, en un nivell o un altre, tots ens hem plantejat algun cop. Així, malgrat que la física quàntica no apareix directament reflectida en el currículum oficial, aquesta exposició és una oportunitat immillorable per introduir l'alumnat en la reflexió al voltant de totes aquestes preguntes vitals.**

**Des del CCCB Educació presentem aquest dossier a mode d'esquema inicial on començar a introduir els conceptes de l'exposició a l'aula.**

# L'EXPOSICIÓ

---

## RECORREGUT CIENTÍFIC

## RECORREGUT ARTÍSTIC

Els prejudicis han dominat el pensament humà durant segles. Un a un han caigut davant l'avenç de la verificació, de la necessària validació de cada idea. Els prejudicis temen la crítica, dicten normes i estableixen falses veritats.

Enfront dels prejudicis, s'erigeixen els Principis o Postulats. Els de la quàntica són sorprenents: sacsegen la nostra ment, ens posen a prova.



**Aparell de levitació quàntica maglev**

<https://www.youtube.com/watch?v=Ws6AAhTw7RA>

### 1. ESCALES

En els seus orígens, la quàntica va ser construïda per descriure el món dels àtoms. A poc a poc, va anar estenent el seu rang d'acció a escales més petites, però també més grans. Tant és així, que avui dia és la forma més precisa de descriure la natura. En molts aspectes, és una teoria sorprenent, sempre sotmesa a crítica i amb un enorme calat filosòfic.



**Charles i Ray Eames, Powers of Ten**

<https://www.youtube.com/watch?v=0fKBhvDjuy0>



**Taula Interactiva – Visualització de les 17 partícules elementals**

<https://www.youtube.com/watch?v=oKbQxoCOusU&feature=youtu.be>



**Detector de partícules Medipix**

### 2. ESTATS QUÀNTICS

Si en realitzar un experiment canviem l'objecte que observem, què és la realitat? I què és saber?

L'aparició de la quàntica comporta una revisió profunda d'idees tant bàsiques com mesurar, saber o comprendre.

### SEMICONDUCTOR

*The view from nowhere (2018)*

Documental que analitza les pràctiques, tècniques, dispositius i llenguatges desenvolupats pels científics del CERN, tot reivindicant la cultura de laboratori. Les veus dels científics teòrics relaten la tasca del científic i la multiplicitat de qüestions que informen les seves visions i intuïcions científiques: com conceben i descriuen la realitat? Quin és el seu punt de vista com observadors? És la ciència avui dia la nostra manera de connectar amb la naturalesa?

La quàntica descriu la natura d'una manera molt especial. No intenta descriure la realitat exacta, sinó la informació que obtenim a través del que s'anomena estat quàntic (o funció d'ona, o ket)

Si tenim una partícula que es mou lliurement, el seu estat quàntic ens donarà informació d'on trobar-la amb certa probabilitat. Al món quàntic desapareixen les idees clàssiques de posició i velocitat. Tot és diferent. La mecànica quàntica ens retorna a la humilitat de tornar a començar a comprendre.



**Entrevistes a Alba Cervera, Wolfgang Lerche, Isabel Bejar Alonso, Helga Timko i Antonio Acín.**

Preguntes:

1. Què és la física quàntica?
2. Quin és l'aspecte més sorprenent?
3. Com creus que canviarà la nostra societat la física quàntica?



**Experiment de la quantització de l'àtom de l'heli**

### 3. SUPERPOSICIÓ

Aquest matí una persona ha sortit amb presses de casa i no recorda si ha apagat el llum o l'ha deixat encès. Són dues històries possibles. En el món clàssic, una és correcta i l'altra no. En el món quàntic, això no és així. La quàntica ens diu que la informació d'un sistema es pot trobar en una superposició d'històries diferents.

Un altre exemple. Una partícula quàntica és llançada contra una paret amb dues escletxes. La veiem passar per la primera, aquesta és una història possible. Si la veiem passar per la segona escletxa, és una altra història possible. Si no mirem i trobem la partícula de l'altre costat de la paret, la quàntica ens diu que hem de treballar amb la suma de les dues històries possibles.

Aquest Principi de superposició està al centre de famoses paradoxes quàntiques i, també, en els desenvolupaments tecnològics quàntics més avançats. Les ressonàncies magnètiques, els fotons que codifiquen missatges encriptats de manera quàntica, la llum làser... tots aquests sistemes es troben en estats amb superposicions quàntiques.

**JUAN CORTÉS**  
***Supralunar (2018)***

El punt de partida d'aquesta peça és el descobriment de la matèria fosca per part de la Vera Rubin. Mitjançant llums i sons, simula la morfogènesi d'una galàxia.

**LEA PORSAGER**  
***COSMIC STRIKE (2018)***

La quàntica permet apropar-nos a la veritable naturalesa del món, un objectiu que han compartit moltes de les tradicions espirituals que, des de temps immemorials, han buscat aquesta veritat. Aquesta instal·lació està formada a partir d'un vídeo fet després d'una meditació tântrica a partir dels neutrí, una de les partícules més abundants i més enigmàtiques de l'univers.



Lucio Moettini, *Electron Interference*

<https://www.youtube.com/watch?v=zc-ivjppzGQ>



Lliçó de Feynman, Cornell University  
1964

<https://www.youtube.com/watch?v=2mlk3wBJDqE>



Taula òptica amb làser / Interferòmetre

#### 4. ENTRELLAÇAMENT

Les històries de diverses partícules no poden ser descrites, en general, com les seves històries separades.

Imaginem que dues partícules van interaccionar i que les seves històries van quedar entrelaçades. Si les separem sense que res interfereixi amb elles, mantenen la seva correlació.

L'entrellaçament és potser la característica quàntica més incomprendible des d'una perspectiva clàssica. L'entrellaçament permet crear tecnologies inesperades. Podem posar un satèl·lit en òrbita mitjançant partícules de llum exactament entrelaçades quànticament. Aquests fotons poden ser enviats a altres continents. Si hi ha una a la Xina amb una polarització horitzontal, l'altra a Àustria tindrà la mateixa. D'aquesta manera s'aprofita l'entrellaçament per distribuir claus criptogràfiques d'un costat a l'altre de la terra. També es pot utilitzar per teleportar estats quàntics. Podem destruir la informació en un lloc i reconstruir-la en un altre, sempre que disposem d'estrats entrelaçats en tots dos llocs.



Escena d'*Star Trek* amb anotacions científiques sobre la teleportació.



Zeilinger explica el concepte d'*Entanglement*

<https://www.youtube.com/watch?v=wLWgo-aOu-8>



Entrellaçament entre Xina i Àustria

<https://phys.org/news/2018-01-real-world-intercontinental-quantum-enabled-micius.html>

HRM199

*One1one* (2018)

Per descriure la mecànica quàntica es fan servir les matemàtiques, que és el llenguatge universal per analitzar i descriure els fenòmens de la ciència. Però seran les matemàtiques el llenguatge adequat per descriure les lleis fonamentals de l'univers, i més encara quan, a mesura que coneixem més del món quàntic, menys sentit tenen les lleis del món observable?

*One1one* planteja un futur on el llenguatge matemàtic s'ha convertit en un mètode arcaic.

YUNCHUL KIM

*Cascade* (2018)

Aquesta obra parteix de l'exploració dels muons, una partícula elemental que es genera en els raigs còsmics que creuen l'atmosfera. La instal·lació es dissenya a partir de tres elements connectats: quan les partícules són detectades, es transmet la senyal i desencadena una resposta que s'evidencia en el material fluid que circula dins els tubs.

## 5. ALEATORIETAT

Existeix l'atzar?

La física clàssica descriu el moviment de les partícules de manera exacta, precisa. No deixa lloc a l'atzar. En llançar una bola a una ruleta, el seu moviment sembla caòtic. La bola xoca amb les caselles, salta, es mou d'un costat a un altre de manera que ens sembla impossible de predir. Però no és així, les lleis de la física clàssica són explícites i dicten a quina casella caurà la bola.

Els humans confonen l'enorme dificultat de realitzar un càlcul amb l'atzar genuí; creuen que el que no és predecible deu ser aleatori. És un error. De manera imparabile, els nostres ordinadors milloren, els nostres càlculs es fan més refinats, podem predir allò que abans ens semblava aleatori.

La física clàssica és determinista. En contraposició al determinisme, la mecànica quàntica postula que, en realitzar una observació, el resultat trobat no està fixat, hi ha atzar genuí.

Mecànica quàntica i física clàssica s'enfronten a mort.

Einstein mai va acceptar l'atzar quàntic, no creia que Déu jugués als daus en l'àtom. Però tot un segle d'experiments donen la raó a la quàntica: l'atzar intrínsec sembla existir.



**Xips quàntics amb generadors de números aleatoris.**

## 6. INDETERMINACIÓ

Mesurar, observar, preguntar a la natura té limitacions en el món quàntic.

Al món del més petit, observar és una acció brutal. A l'intentar mesurar la posició d'un electró amb un fotó molt energètic, es produeix una col·lisió tan forta per a ambdues partícules que l'electró surt disparat. En observar el món microscòpic, l'observador modifica l'ens observat.

**JAMES BRIDLE**  
*State of Sin (2018)*

James Bridle defensa l'existència d'atzar en el món visible, i no només en el món quàntic. Per provar-ho, connecta robots generadors de nombres aleatoris amb una font externa, ja sigui una planta, la llum o l'aire.

**YUN CHEN WANG**  
*We aren't able to prove that just yet...*  
(2018)

A partir d'imatges de les "cambres de boira", utilitzades per veure el moviment de les partícules durant els anys 60, l'artista crea una obra on barreja la bellesa estètica de les imatges amb els processos d'investigació i recerca, tot vinculant-ho a les històries individuals dels científics que entrevista.

Si en mesurar alterem el que mesurem, fins on podem saber? Existeix un límit en la nostra capacitat de descriure el més petit. Hem topat amb el Principi d'Incertesa d'Heisenberg. Si desitgem mesurar la posició d'una partícula, perdem informació sobre la seva velocitat. Si insistim en conèixer la seva velocitat, no podem saber on està. Res es pot mesurar simultàniament amb certesa en el món quàntic.



**Visualització contemporània del Bossó de Higgs**



**Scan Girls**

<https://videos.cern.ch/record/43141>



**Bubble Chamber**

<https://www.youtube.com/watch?v=e3fi6uyyrEs>

## 7. CIÈNCIA OBERTA

La quàntica és a més una teoria que retorna l'home a la humilitat. No és possible saber-ho tot, hi ha límits del nostre coneixement de la realitat. Tampoc podem predir amb certesa, hi ha atzar intrínsec. Ens agradi o no, les lleis quàntiques imperen tot i que ens resultin desconcertants.

La quàntica és humil en tant que és qüestionada sense pietat generació rere generació. Són correctes els postulats que assumim? És la quàntica una teoria final, o una forma que potser superarem en el futur? La humilitat quàntica contrasta amb el seu èxit enorme. Les nostres vides estan envoltades del nostre control quàntic de la natura.

El treball científic ha sigut sempre una tasca col·lectiva: qualsevol nova idea té els seus ciments en altres idees d'altres persones. No obstant, el caràcter una característica particular de la ciència contemporània. Newton va crear la teoria de la gravitació universal, i també l'òptica. Maxwell va formular les equacions d'electromagnetisme. Einstein va construir la Teoria de la Relativitat. La mecànica quàntica, en canvi, és una construcció col·lectiva. Són Planck,

### **JULIETA ARANDA** ***Stealing One's own Corpse (2018)***

Aquesta obra planteja una reflexió crítica sobre les conseqüències que tenen la investigació i el desenvolupament científic, posant l'accent en l'explotació i la destrucció del planeta.

La peça vol mostrar aquest impacte dels humans i la tecnologia als ecosistemes i així evidenciar el complex vincle amb temes polítics, econòmics i socials.

Einstein, Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Born i molts altres els que van construir els seus fonaments. La mecànica quàntica és una subtil catedral intel·lectual.

Aquest caràcter col·lectiu de la ciència s'ha intensificat en paral·lel a la complexitat dels experiments i la facilitat en la interacció dels científics en tot el món. Qualsevol experiment de física avançada requereix la col·laboració de desenes, centenes o fins i tot milers de persones. Probablement el CERN constitueix l'exemple paradigmàtic d'aquest procés.

Milers de científics d'orígens molt diferents treballant amb un mateix objectiu.

A més, el CERN ha abanderat aquest concepte de ciència oberta, en el que dades i desenvolupaments teòrics no tenen propietari. La ciència oberta ha vingut per quedar-se.



**Història del CERN**



**Cronologia de la Quàntica**



**Institucions de Física Quàntica a Barcelona**

## 8. QUÀNTICA QUOTIDIANA

La mecànica quàntica ens proporciona eines de precisió impressionant que permeten crear tecnologies que ens acompanyen en el nostre dia a dia.

Podem aprofitar la separació entre dos nivells d'energia dins un àtom. Els salts d'un electró permet aprofitar una freqüència ultra precisa. Tenim un rellotge atòmic. Utilitzem rellotges atòmics per al GPS. Quan consultem la nostra posició en un telèfon mòbil, estem mesurant la interferència d'ones que han emès satèl·lits equipats per rellotges atòmics.

Quan un humà es col·loca en un camp magnètic, excita els espins (un moment magnètic intrínsec). Quan aquests es desexciten, podem recollir la senyal i així saber fins on arriba. D'aquesta manera es pot reconstruir el cos humà de forma no invasiva. Tenim una ressonància nuclear magnètica.

**DIANN BAUER**  
***Scalar Oscillation (2018)***

A la teoria de la relativitat, Einstein ja plantejava que el temps no passa de manera idèntica per tothom.

Diann Bauer juga amb el concepte de temps i explora la diferència entre les característiques del temps en el camp de la física i la temporalitat, o l'experiència més quotidiana del temps.

Moltes partícules de llum poden construir un únic estat quàntic. Totes elles comparteixen de forma coherent una mateixa funció d'ona. Aquesta llum làser es precisa, deposita energia de manera molt eficient, i pot codificar informació. Utilitzem làsers per tallar materials, llegir DVDs, per transmetre comunicacions per internet...

La quàntica també es troba darrere els semiconductors, que són la base per construir transistors, que conformen els xips. Amb ells calculem bilions d'operacions matemàtiques per segon. Tenim un ordinador.

## 9. CANVI

L'últim postulat quàntic: canvi. Aquest postulat dicta com els estats quàntics canvien amb el temps. A diferència de l'aleatorietat, que caracteritza el procés de mesurar, l'evolució d'un estat quàntic és totalment previsible quan no s'està observant: obeeix a la equació de Schrödinger.

La barreja de l'evolució quàntica amb el principi de superposició permet crear una nova fórmula de calcular: la computació quàntica. Podem aconseguir que cada història possible d'un estat sigui l'equivalent d'un càlcul separat. Totes les històries interfereixen de manera que sorgeix una nova lògica quàntica.

Imaginem que volem obrir un pany amb una clau que tenim barrejada entre un milió de claus. Al món clàssic s'hauria de provar cada clau una a una fins trobar la bona. Al món quàntic es pot crear una superposició de claus i provar-les simultàniament. La superposició i l'evolució de Schrödinger són les noves armes de la computació quàntica. El resultat final, en ser mesurat, tindrà un element d'atzar que s'ha de combatre. Crear un algoritme quàntic és tot un art.

Fins ara, només uns pocs grups al món han aconseguit construir un món quàntic amb més de deu qubits (bits quàntics).



**Microscopi amb un qbit (chip quàntic)**

## SUZANNE TREISTER *THUTOAH* (2018)

L'obra de Suzanne Treister té com a punt de partida la teoria hologràfica de l'univers. Així, en aquesta *Teoria Hologràfica de l'Univers de la Història de l'Art (THUTOAH)*, formula la hipòtesi de que els artistes podrien haver estat descrivint inconscientment la natura hologràfica de l'univers.

Per fer-ho, Treister projecta més de 25.000 imatges de tota la història de l'art accelerant-les a 25 per segon, tot imitant les accions de l'accelerador de partícules del CERN.



## A L'AULA

---

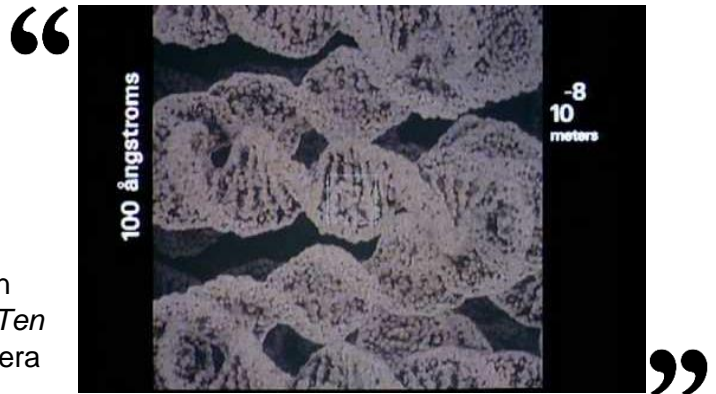
A partir d'aquest resum de l'exposició, des de l'aula es poden desplegar tot un seguit de temes que van connectant la ciència, la filosofia i l'art. Aquí despleguem un seguit d'idees que es poden utilitzar com a punt de partida.

### LA REALITAT QUÀNTICA

---

Com és la realitat, segons la física quàntica?

L'any 1977, Ray i Charles Eames van crear aquest audiovisual, *Powers of Ten* (Potències de deu) per explicar com era la realitat des de diferents escales.



### EL DESIG DE CONEIXEMENT

---

“ Tenim l'impuls de donar sentit al món i al lloc que hi ocupem, però sabem, o temem, que aquesta és una tasca que no podrem concloure mai. ”

**Marcelo Gleiser<sup>1</sup>**

“ El misteri és l'emoció fonamental que es troba al bressol de l'art i la ciència veritables. Qui no sàpiga i ja no sigui capaç de meravellar-se és com si fos mort. ”

Albert Einsein<sup>2</sup>

**A partir del visionat del vídeo i de les cites de Gleiser i Einstein, es poden plantejar preguntes com les següents:**

- 1- Per què necessitem conèixer?
- 2- Que vol dir Gleiser amb que “tenim l'impuls de donar sentit al món i al lloc que hi ocupem”?

- 3- A què és refereix Gleiser quan diu que “aquesta és una tasca que no podem concloure mai”?
- 4- Què vol dir Einstein amb “el misteri és l’emoció fonamental que es troba al bressol de l’art i la ciència veritables”?
- 5- Comparteixes la seva opinió de “qui no sàpiga i ja no sigui capaç de meravellar-se és com si fos mort”?

## EL CERN, UN EXEMPLE DE LABORATORI CIENTIFIC

---

A l’obra *The view from nowhere*, Semiconductor analitza la tasca dels científics al CERN.

**La seva obra pot ser un bon punt de partida per acostar el CERN a l’alumnat. Aquest vídeo també és una bona introducció.**

“



Com afirma el vídeo, al CERN s’investiga l’origen de l’univers, el que coneixem com a Big Bang.

**Però, què és exactament el Big Bang, i què sabem del cert?**

”

## L’ORIGEN DEL MÓN: CIÈNCIA I RELIGIÓ

---

**A l’obra *Cosmic Strike*, l’artista Lea Porsager vol evidenciar com de propers estan ciència i religió.**

“Al principi, Déu va crear el cel i la terra. La terra era caòtica i desolada, les tenebres cobrien la superfície de l’oceà, i l’Esperit de Déu planava sobre les aigües. Déu digué: —Que existeixi la llum. I la llum va existir.”

La Bíblia

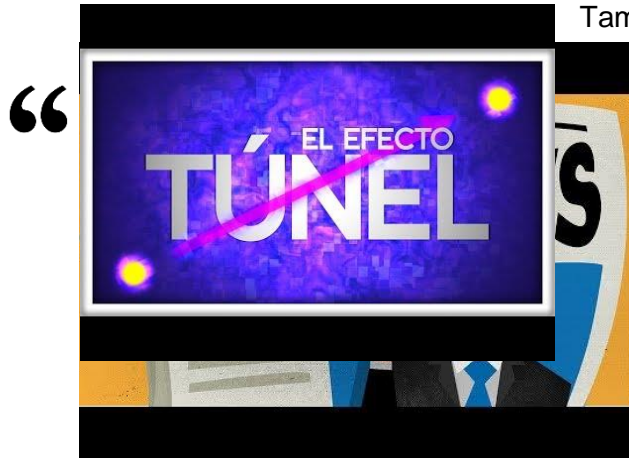
“I doncs, al passat més remot va sorgir el Caos, i després, al seu torn, Gea de l’ample pit —seu ferma tothora de tots els immortals que governen els cims de l’Olimp, cobert de neu—, i el Tàrtar boirós, al fons d’un abís de la vasta terra, i el que és el més bell entre els déus immortals, Eros que ens molleix el cos i que sotmet, al pit de tots els déus i tots els mortals, la voluntat prudent i el seny”

Hesíode, Teogonia

**A partir d’aquestes cites, es poden plantejar la voluntat comuna de ciència i religió, també de la filosofia: donar resposta a tot allò que ens qüestionem.**

## CIÈNCIA I RELIGIÓ: FETS I OPINIONS

---



També s'ha de plantejar quina és la diferència essencial entre ciència i religió. La ciència no són opinions, són fets demostrats amb experiments.

Avui dia, els fenòmens de la postveritat i les fake news es poden utilitzar com a punt de partida per explicar la diferència entre postulats i opinions.

”

## ELS LÍMITS DEL LLENGUATGE

---

“



”

“ If you are not completely confused by quantum mechanics, you don't understand it” ”

Niels Bohr

Un dels experiments més famosos de la Quàntica és el de la doble ranura, que demostra la difícil comprensió del món quàntic. **Entrellaçament, aleatorietat, teleportació...** són conceptes que semblen gairebé impossibles d'entendre si ens regim per les lleis del món visible.

De fet, se'ns escapa tant que fins i tot als físics quàntics els és molt difícil de descriure-ho.

**Però i si el nostre llenguatge tampoc estigués preparat per arribar a descriure-ho?**

De fet, hi ha termes en altres llengües que no existeixen per nosaltres, perquè descriuen realitats diferents.

L'escriptor rus **Vladimir Nabokov** ho descrivia molt bé:

“ No single word in English renders all the shades of «toska». At its deepest and most painful, it is a sensation of great spiritual anguish, often without any specific cause. At less morbid levels it is a dull ache of the soul, a longing with nothing to long for, a sick pining, a vague restlessness, mental throes, yearning. In particular cases, it may be the desire for somebody of something specific, nostalgia, Love-sickness. At the lowest level it grades into ennui, boredom”<sup>3</sup>.

*“Cap paraula de l'anglès tradueix tots els matisos de «toska». En el seu sentit més profund i dolorós, és una sensació de gran angoixa espiritual, sovint sense una causa específica. A nivells menys mòrbids és un dolor sord de l'ànima, un anhel sense res que per anhelar, una enyorança malaltissa, una vaga inquietud, agonia mental, ànsies. En alguns casos podria ser el desig per quelcom o per algú en particular, la nostàlgia, una pena d'amor. En el seu nivell més baix es redueix al tedi, a l'avorriment.*”

**Així, com podem descriure una cosa quan el nostre llenguatge no ho permet?**

**Podem arribar a comprendre i descriure tota la realitat?**

“ [En el món quàntic] queda fins i tot qüestionada la idea del que existeix: no podem dir que un electró existeix fins que no l'observem. Sorprenentment, el mateix acte d'observar una cosa dona lloc a la seva existència.”<sup>4</sup>

Els sociolingüistes i els antropòlegs parlen de la **paradoxa de l'observador**: si volem analitzar una llengua, anirem a parlar amb una persona nativa. Però aquesta, inconscientment, adaptarà el seu llenguatge a un registre formal i, així, la nostra presència afectarà allò que volem observar.

**Aleshores, té sentit observar i mesurar, si així estem condicionant el resultat?**

## **LES POSSIBILITATS DEL LLENGUATGE ARTÍSTIC**

---

**L'exposició reivindica la unió entre els llenguatges científic i artístic, sovint contraposats.**

Però des de fa uns anys, aquests dos mons s'estan acostant cada cop més. En aquesta entrevista, Mónica Bello, directora del programa **Arts at CERN**, planteja com aquestes dues disciplines s'acosten i poden ser complementàries. A més, explica com es dona el contacte entre científics i artistes.

“



”

A partir d'aquests materials, es poden plantejar les següents preguntes:

1. Què és art?
2. Quines diferències i similituds hi ha entre ciència i art?
3. Són mons oposats o són complementaries?

## QÜESTIONAMENT QUÀNTIC

---

**Els descobriments de la física quàntica fan que ens haguem de replantejar el coneixement de la realitat. Conceptes com l'entrellaçament, la superposició i la aleatorietat plantegen reptes que qüestionen tot el nostre món.**

“

Fa aproximadament un segle, els físics van adonar-se que la manera com es miraven el món era, per dir-ho suaument, incompleta. El que ara anomenem física clàssica s'havia demostrat que funcionava molt bé per descriure fenòmens que ens eren còmodament familiars: la caiguda d'una pedra, l'òrbita dels planetes al voltant del sol, la reflexió de la llum damunt la superfície d'una bassa, els arcs de Sant Martí, les màquines de vapor, etc. Però, a mesura que els instruments científics i les tècniques d'experimentació els van permetre d'examinar distàncies cada vegada més curtes, van començar a aparèixer enigmes i incoherències per tot arreu. Les explicacions que feien servir conceptes de la física clàssica fallaven d'una manera espectacular. Predeien, per exemple, que els àtoms eren inestables i que, per tant, els bocins de matèria no podien existir. Aquestes constatacions van ser una bona patxada per a l'amor propi dels científics de primera fila d'aquell moment. **Tota la vida havien cregut que en la natura hi havia un ordre, que la natura obeïa unes simples regles de causalitat que feien que els fenòmens fossin deterministes: si coneixem l'estat d'un sistema, ara, hauríem de poder-ne predir l'estat, únic i específic, en el futur. Només hi ha una cosa que pugui passar. Això funciona de meravella aplicat als cometes i als eclipsis, però falla estrepitosament aplicat als àtoms i a les partícules subatòmiques.** La nova física, desenvolupada principalment a la dècada del 1920, va minar aquesta visió del món clàssica: al nivell dels àtoms i de les partícules subatòmiques no podem donar una única versió del futur; de coses, en poden passar diverses, cadascuna amb una probabilitat diferent. I d'altra banda, a

”

més, ja no es podia separar l'observador d'allò que és observat. El límit entre el «dins» (l'observador i les seves eines i perspectiva) i el «fora» (les partícules o altres fenòmens a observar) es va desdibuixar, ja que l'observador i allò que és observat es van fondre en un tot indestruïble.<sup>5</sup>



“ Déu no juga als daus ”

Albert Einstein

**GOD DOESN'T PLAY DICE.**

A partir de la lectura del text i la frase d'Einstein, es pot plantejar un debat al voltant de **la realitat i la seva percepció, el determinisme i l'atzar.**

### **QUI SÓN ELS PROTAGONISTES DE LA FÍSICA QUÀNTICA?**

---

L'exposició defineix la quàntica com una ciència oberta. A partir d'aquesta idea, es pot traçar la construcció dels postulats quàntics a través dels seus protagonistes.

**Busca informació sobre Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Louis de Broglie, Max Born, Paul Dirac, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Erwin Schrödinger i Richard Feynman.**

**Què va aportar cadascun d'ells a la quàntica?**





# LA CRONOLOGIA DE LA FÍSICA QUÀNTICA

Cronologia de la història de la física quàntica, que pot ser útil per treballar a l'aula.

<p><b>M. Planck</b> 1858 - 1947</p> <p><b>A. Einstein</b> 1879 - 1955</p> <p><b>S. Bose</b> 1894 - 1974</p> <p><b>De Broglie</b> 1892 - 1987</p> <p><b>W. Elsasser</b> 1904 - 1983</p> <p><b>M. Catalán</b> 1914 - 1987</p> <p><b>O. Stern</b> 1888 - 1993</p> <p><b>W. Gerlach</b> 1903 - 1989</p> <p><b>P. Dirac</b> 1902 - 1984</p> <p><b>H. A. Kramers</b> 1894 - 1992</p> <p><b>E. Rutherford</b> 1871 - 1942</p> <p><b>E. M. Schrödinger</b> 1885 - 1955</p> <p><b>H. Heisenberg</b> 1901 - 1981</p> <p><b>M. Born</b> 1882 - 1970</p> <p><b>1970-73</b> 1982</p> <p><b>1984</b></p> <p><b>1999</b></p> <p><b>2011</b></p> <p><b>2012</b></p> <p><b>2017-18</b></p>	<p><b>P. Ehrenfest</b> 1880 - 1933</p> <p><b>J. Burghers</b> 1903 - 1988</p> <p><b>P. Debye</b> 1884 - 1966</p> <p><b>A.H. Compton</b> 1892 - 1962</p> <p><b>W. Pauli</b> 1900 - 1958</p> <p><b>N. Bohr</b> 1879 - 1962</p> <p><b>H. Geiger</b> 1882 - 1945</p> <p><b>E. Marsden</b> 1913 - 1990</p> <p><b>J. Franck</b> 1891 - 1964</p> <p><b>G. Hertz</b> 1887 - 1987</p> <p><b>H. Moseley</b> 1888 - 1915</p> <p><b>D-Wave anuncia el primer "quantum annealer"</b></p> <p><b>IBM, Intel i Google construeixen ordinadors quàntics de 50, 49 i 72 bits quàntics respectivament.</b></p>	<p><b>Enstien explica l'efecte fotoelèctric.</b> L'energia electromagnètica es absorbeix de manera quantificada.</p> <p><b>Observació de l'efecte Compton.</b> La llum ja no pot ser pensada només com una ona. Les partícules de llum tenen moment.</p> <p><b>Davidson i Germer reafirmen l'experiment amb electrons.</b> Demostren que els electrons no tenen perquè tenir una posició ben definida i per tant no poden ser pensats com partícules clàssiques puntuals.</p> <p><b>Einstein, Podolski i Rosen presenten una paradoxa. La física quàntica esdevé incompatible amb el realisme local.</b></p> <p><b>S'inventa el transistor</b> basat en la física quàntica de l'estat sòlid.</p> <p><b>Boil proposa una desigualtat</b> que es respectada per les teories de variables amagades, però violada per la teoria quàntica. Sobre la porta a la natura no respecta el realisme local.</p> <p><b>Es proposa el mecanisme de Higgs</b> (bosó de Higgs) per explicar la massa d'algunes partícules elementals.</p> <p><b>Es proposa el mecanisme de Higgs</b> (bosó de Higgs) per explicar la massa d'algunes partícules elementals.</p> <p><b>Shor presenta un algorisme quàntic (algorisme per a ser executat en un ordinador quàntic) que permet desxifrar de forma molt més ràpida molts problemes no és solució coneguda amb un ordinador clàssic convencional.</b></p> <p><b>El bosó de Higgs és detectat al CERN.</b></p>	<p><b>Partur de Planck per a explicar la radiació del cos negre.</b> L'energia elèctromagnètica pot ser emesa i absorbida de manera quantificada.</p> <p><b>Model atòmic de Bohr.</b> Les orbites estan quantitzades. Això explica l'estabilitat dels àtoms.</p> <p><b>Schrödinger formula la mecànica ondulatòria.</b> Primera formulació de la mecànica quàntica.</p> <p><b>Born dona una interpretació probabilística a la funció d'ona d'Schrödinger.</b></p> <p><b>Von Neumann presenta una formulació matemàtica de la física quàntica.</b></p> <p><b>El projecte Manhattan desenvolupa la primera bomba atòmica.</b> S'ira l'atombombada sobre les ciutats d'Hiroshima i Nagasaki.</p> <p><b>Es construeix el primer làser.</b></p> <p><b>Es formula el model estàndard que descriu totes les partícules fonamentals i les seves interaccions.</b></p> <p><b>Apareixen els primers protocols de criptografia quàntica.</b></p>	<p><b>E. Fermi</b> 1901 - 1954</p> <p><b>E. Schrödinger</b> 1885 - 1955</p> <p><b>L. Germer</b> 1886 - 1973</p> <p><b>W. Gordon</b> 1893 - 1982</p> <p><b>J.C. Slater</b> 1901 - 1976</p> <p><b>H. Bethe</b> 1906 - 2005</p> <p><b>E. Teller</b> 1908 - 2003</p> <p><b>J. Von Neumann</b> 1903 - 1958</p> <p><b>F. London</b> 1916 - 1984</p> <p><b>W. Heitler</b> 1901 - 1981</p> <p><b>L. Landau</b> 1908 - 1968</p> <p><b>O. Hahn</b> 1879 - 1968</p> <p><b>F. Strassmann</b> 1902 - 1980</p> <p><b>P. Jordan</b> 1902 - 1980</p> <p><b>J. Chadwick</b> 1891 - 1974</p> <p><b>R. Feynman</b> 1918 - 1988</p> <p><b>F. Dyson</b> 1923 - 2013</p> <p><b>J. Schwinger</b> 1918 - 1994</p> <p><b>S. Tomonaga</b> 1927 - 1991</p> <p><b>V. Weisskopf</b> 1908 - 2002</p>	<p><b>C. Davisson</b> 1891 - 1986</p> <p><b>G.P. Tomson</b> 1892 - 1974</p> <p><b>O. Klein</b> 1889 - 1977</p> <p><b>L. Pauling</b> 1901 - 1994</p> <p><b>V. Fock</b> 1898 - 1974</p> <p><b>P.A.M. Dirac</b> 1902 - 1984</p> <p><b>S. Goudsmit</b> 1902 - 1992</p> <p><b>G. Uhlenbeck</b> 1900 - 1988</p> <p><b>R. Oppenheimer</b> 1904 - 1987</p> <p><b>G. Gamow</b> 1904 - 1978</p> <p><b>M. Born</b> 1882 - 1970</p> <p><b>V. Weisskopf</b> 1908 - 2002</p>
---	--	---	---	--	--

“ Repassem breument una sèrie d'objectes que utilitzem un dia qualsevol: potser ens despertem amb un rellotge digital, o amb un mòbil (segur que és un smartphone); escalfem l'esmorzar amb un forn microones, i anem a treballar amb un cotxe, tot escoltant la ràdio. Un cop a la feina ens connectem a un ordinador, que segurament està connectat a una impressora i a una xarxa d'informació local o externa. També farem algunes trucades per telèfon. De camí cap a casa ens aturem a algun supermercat, on tots els productes duen un codi de barres i passen per un lector. Un cop a casa, veurem la tele, o potser escoltem música d'un CD, o passem una estona mirant l'Instagram al mòbil.”<sup>6</sup> ”

**A partir d'un text així, es pot evidenciar l'impacte que té la mecànica quàntica en el nostre dia a dia, sobretot amb la invenció del transistor i el làser, que es troben a la base d'una part important de la nostra tecnologia.**



- 
- 1 Gleiser, Marcelo "La Realitat és un mosaic d'idees en canvi permanent" a *Quàntica*, catàleg d'exposició, CCCB: Barcelona, 2019 (inèdit)
  - 2 Gleiser, Marcelo "La Realitat és un mosaic d'idees en canvi permanent" a *Quàntica*, catàleg d'exposició, CCCB: Barcelona, 2019 (inèdit)
  - 3 Citat a Simpson, Andrew, *Language and Society: An Introduction*, Oxford University Press: Nova York, 2019 [consulta en línia a <https://books.google.es/books?id=kpSBDwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=ca&pg=PP1#v=onepage&q&f=false> ]
  - 4 Gleiser, Marcelo "La Realitat és un mosaic d'idees en canvi permanent" a *Quàntica*, catàleg d'exposició, CCCB: Barcelona, 2019 (inèdit)
  - 5 Gleiser, Marcelo "La Realitat és un mosaic d'idees en canvi permanent" a *Quàntica*, catàleg d'exposició, CCCB: Barcelona, 2019 (inèdit)
  - 6 Adaptat de Muga Francisco, Juan Gonzalo "La física cuántica en la vida diaria" a *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, Núm 2, 2001, p. 53-59