

No hi ha partícules, només camps

- Els constituents **fonamentals** són **camps** il·limitats, **no partícules** delimitades
- Les **partícules** són una **conseqüència** fenomenològica dels **camps**
- El camp de Schrödinger omple l'espai. El seu valor a qualsevol punt és l'amplitud de probabilitat d'interacció en aquest punt.
- El **camp** per a un electró és l'**electró**

Partícules vs camps

- Prou evidències per arribar a consens sobre la visió de camps
- Tot i això, el debat segueix viu:
 - 1) La Teoria Quàntica de Camps i la Física de Partícules, són noms diferents per la mateixa disciplina
 - 2) Distància entre el punt de vista de la Física Quàntica actual¹ i el del gairebé tots els llibres de text en la matèria

1) M. Redhead. *More ado about nothing*. Found. Phys. 25(1), 123-137 (1995)

Traducció pròpia:

«Els estats partícula no són mai observables (són una idealització que condueix a multitud de malentesos sobre el que succeeix a la Teoria Quàntica de Camps). La teoria tracta sobre els camps i sobre les seves excitacions locals. I això és tot.»

Esquizofrènia a la Física

- Per **altes energies**, hi ha **acord** en que la Física Quàntica Relativista tracta de **camps**, i que electrons, fotons i demés **entitats** són **excitacions** (ones) en **camps** fonamentals
- A **baixes energies** però, en l'àmbit educatiu i divulgatiu de la Física Quàntica No Relativista, es parla de **partícules** que mostren un **comportament** «**paradoxal**»
- Així i tot, la **Física Quàntica No Relativista** és el **límit no relativista** de la **Teoria Quàntica de Camps** relativista per la que **tot són camps**

Prefaci a la classe de R. Feynman sobre l'experiment de la doble escletxa:

Traducció pròpia:

«No us prengueu la classe molt seriosament, creient que realment heu d'entendre en termes d'algun model allò que estic a punt de descriure; només relaxeu-vos i gaudiu. (...) No us pregunteu: 'com pot actuar així la natura?', ja que us endinsareu en un carreró sense sortida d'on ningú no ha tornat»

Història dels camps clàssics

- Newton veu absurd que la matèria inanimada actuï a distància en el buit, però no troba evidència empírica per a una explicació causal de la gravitació
- Al segle XIX i principis del segle XX, electromagnetisme i relativitat fan que l'interès passi de l'acció a distància als camps
- Michael Faraday (1791-1867), introdueix el concepte modern de camps, com a propietats de l'espai amb efectes físics
- James Clark Maxwell (1831-1879). Infereix un èter mecànic que obeeix les lleis de Newton

Dibuix de Faraday. Línies de força magnètica
experimentals. <https://simplymaths.wordpress.com/>

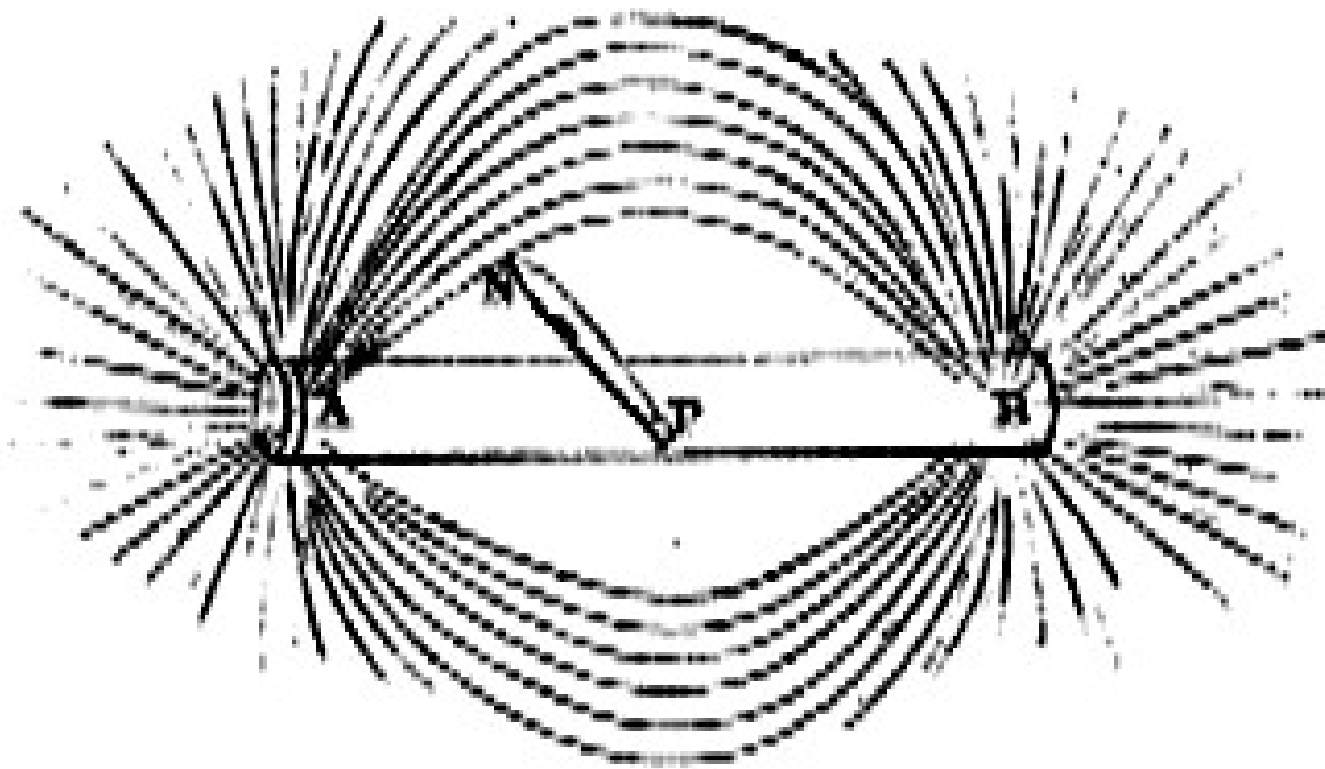


Fig. 25.

- Per **Einstein**, no hi ha èter material que **suporti** les ones de **llum**
- El **medi** per a la llum **és** l'**espai** en sí mateix
- De la **Relativitat Especial**, es dedueix que l'**energia** en els camps **té inèrcia**, i per tant es pot considerar 'substància' per se, **en comptes** de considerar-se un **estat** d'una altra substància com l'**èter**
- Amb les equacions de camp de la Relativitat General

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}(x) R(x) = T_{\mu\nu}(x)$$

queden descrites totes les forces conegudes en termes de camps (1915)

Història i descripció dels Camps Quàntics

- La Física Quàntica no Relativista de la matèria desenvolupada a la dècada de 1920, passa a dir-se Mecànica Quàntica en analogia amb la Mecànica Newtoniana de partícules indestructibles a l'espai buit
- Tanmateix, l'equació central de la Física Quàntica, l'equació de Schrödinger, és una equació de camp
- Descriu un camp depenent del temps $\Psi(x_0, t)$, al llarg d'una regió de l'espai

Camps de radiació quantitzats

- Per tal de quantitzar el camp electromagnètic, es quantitza el camp potencial vector

$$\mathbf{A}_{op}(\mathbf{x}, t) = \sum_{\mathbf{k}} \left[\mathbf{a}_{op}(\mathbf{k}, t) e^{i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x}} + \mathbf{a}_{op}^*(\mathbf{k}, t) e^{-i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x}} \right]$$

del què se'n poden calcular $\mathbf{E}(\mathbf{x}, t)$ i $\mathbf{B}(\mathbf{x}, t)$

- Els operadors $\mathbf{a}_{op}(\mathbf{k}, t)$ i $\mathbf{a}_{op}^*(\mathbf{k}, t)$, satisfan les equacions de Heisenberg del moviment per a un conjunt d'oscil·ladors harmònics
- Així definit, el camp quàntic satisfà la Física Quàntica i la Relativitat Especial

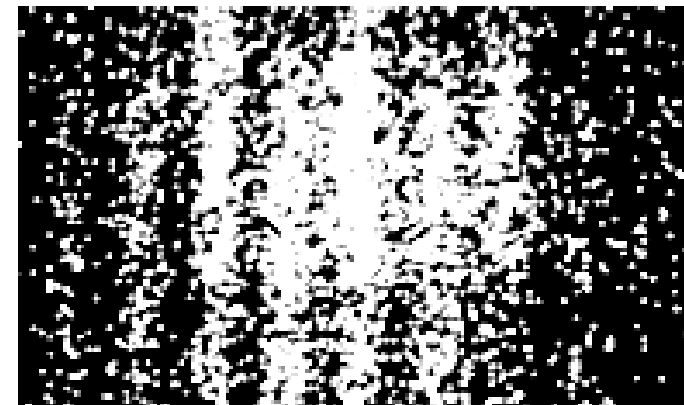
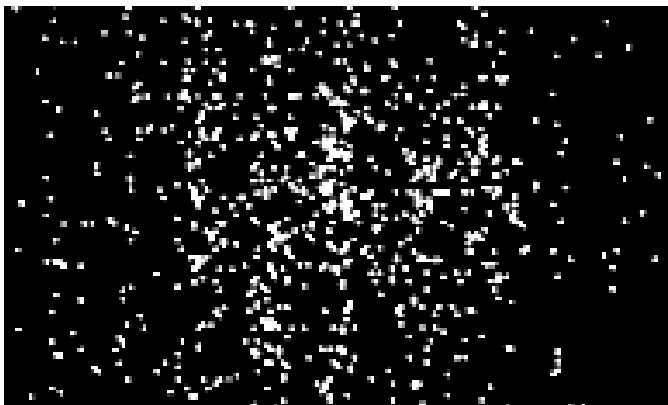
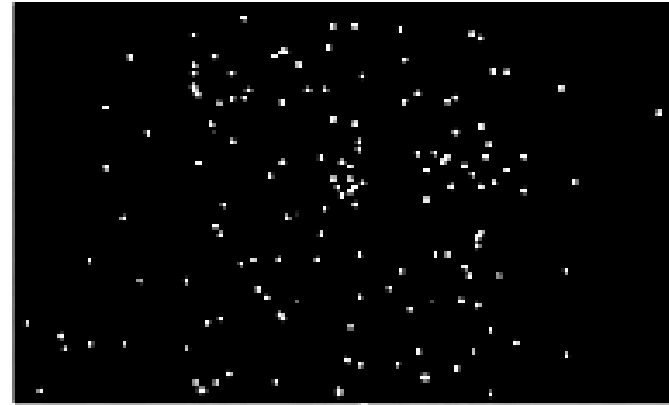
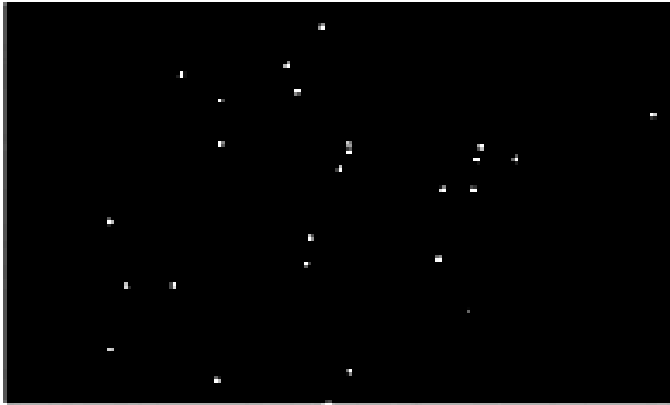
Camps de matèria quantitzats

- L'equació de **Schrödinger** no és **covariant** Lorentz
- **Dirac** inventa una **generalització covariant** Lorentz de l'equació de **Schrödinger** pel **camp** $\Psi(\mathbf{x}, t)$ associat a un **electró**
- L'equació de **Dirac** incorpora el **spin**, i és més **precisa** en la **predicció** de l'**espectre** de l'**hidrogen**
- Així, el **camp** de **Schrödinger** és la **versió no relativista** de l'**equació** de camp relativista de **Dirac**
- El **camp** de **matèria** de **Schrödinger** ocupa tot l'**espai** i, **com** el camp de **Dirac**, aquest **camp** és l'**electró**

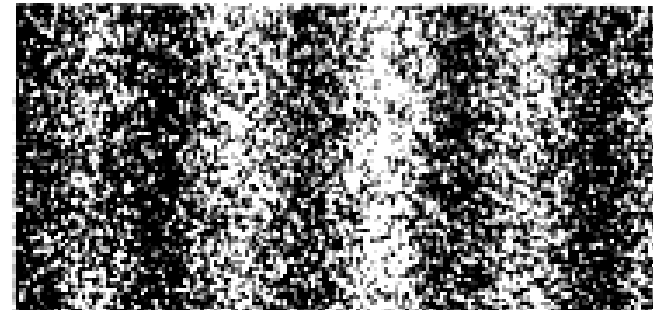
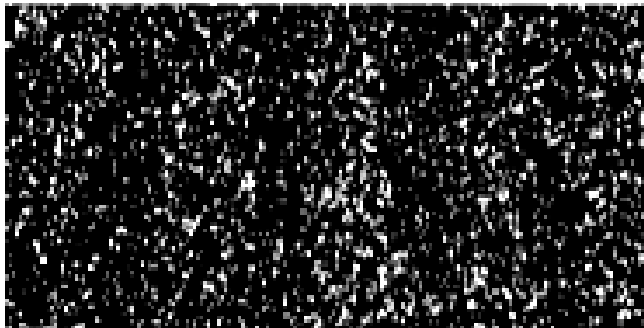
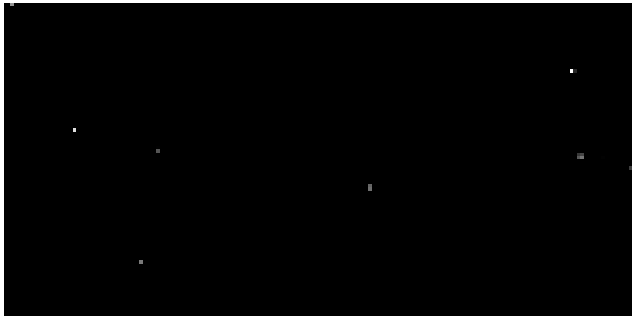
Experimento de la doble rendija

- El experimento consiste en una fuente monocromática de luz (figura 1) o en una fuente monoenergética de electrones (figura 2) una pantalla opaca con dos hendiduras y una pantalla de detección
- Los electrones se comportan como cuantos de campo, igual que los fotones
- Cada cuanto (fotón o electrón) es un campo extendido en todo el espacio que atraviesa las dos rendijas
- Este comportamiento resulta tremendamente difícil de explicar en términos de partículas

Difracción de fotones



Difracción de electrones



Una o dos rendijas (partículas)

- Si enviamos un **único cuanto** (electrón), éste **pasará** por **una sola rendija**
- Aún así, repitiendo el experimento, los **diferentes electrones** se **reparten por** todo el **patrón de interferencia** (Figura 2), aunque **no** hayan podido **interactuar**
- Si **cerramos una rendija**, el **patrón** que obtenemos **no** muestra **interferencia**

Una o dos rendijas (campos)

- El **campo** de un único **electrón** se **extiende** a través de las **dos rendijas**, produciendo el **patrón** de **interferencia** de la figura 2
- Si sólo hay **una rendija** abierta, el **campo** se extiende sólo por ésta y no muestra **interferencia**

Detección de cuantos individuales

- Los destellos observados en en la pantalla en el caso de los electrones, son eventos multiatómicos debidos a la interacción de un cuanto con la pantalla (detector)
- Un cuanto interacciona con átomos localizados (del detector). Los cuantos no tienen porqué ser partículas
- La localización es característica del proceso de detección, no del cuanto que es detectado.