Richard Feynman y la Física Moderna

por:

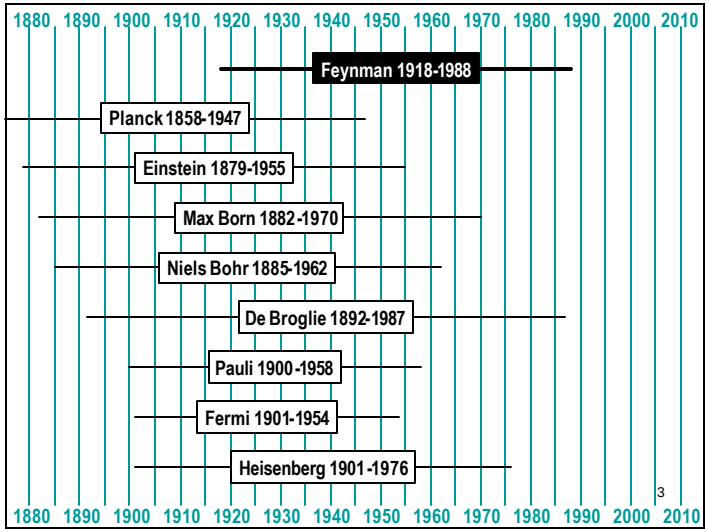
Luis Guillermo Restrepo Rivas

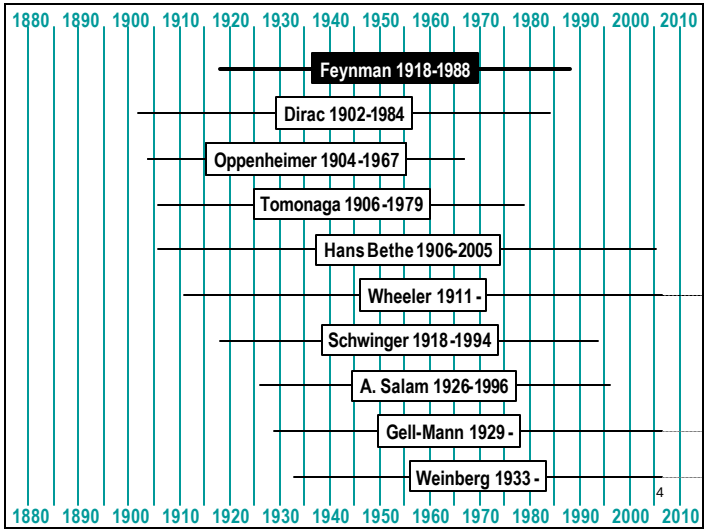
Planetario de Medellín "Jesús Emilio Ramírez González"

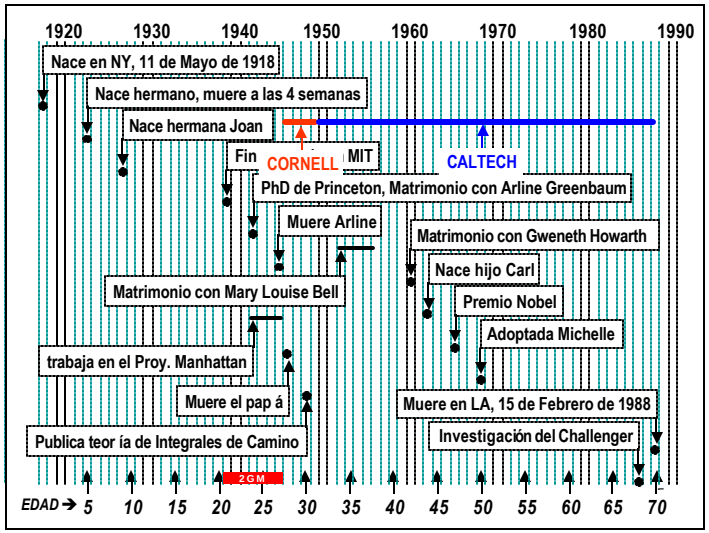
Medellín, Agosto 2 de 2007

Físicos de la época más relacionados

2







- Padre: **Melville Feynman**
  - Nacido en familia judía de Minsk (Bielorusia)
  - Inmigrante en EE.UU. con su familia, a los 5 años de edad.
  - Hombre de negocios, con talento y gusto por la ciencia, pero no se pudo dedicar a ella.
  - Influyó en Richard en el gusto por el conocimiento, el cuestionamiento por las cosas y el esfuerzo por hallar explicaciones.
- Madre: **Lucille Phillips**
  - Hija de inmigrantes judíos polacos
  - Influyó en Richard en su sentido del humor y su capacidad narrativa

6

Juventud

7

- Gusto por las matemáticas: Autodidacta antes de estudiar estos temas en la escuela. A los 15 años dominaba cálculo diferencial e integral.
- Miembro del club de matemáticas de su escuela en Far Rockaway.
- Gusto por hacer experimentos con electricidad, alarmas y radios en laboratorio casero.
- Muy poco interés en temas como música, poesía, y literatura. Temas que le parecían demasiado "delicados" ("afeminados"), no para *"hombres de verdad".*

8

- 1935-1939: Estudia en el MIT
  - Tesis para “Bachelor of Science” en Física: ***“Fuerzas y Tensiones en Moléculas”***.
- 1939: Va a la U. de Princeton para su doctorado
- Diciembre de 1941: EE.UU. entra a la Segunda Guerra Mundial
- Feynman comienza a trabajar en el Proyecto Manhattan, desde la U. de Princeton.
- 1942: Obtiene su título PhD.
  - Tesis: ***“El Principio de Mínima Acción en Mecánica Cuántica”***.

9

1942

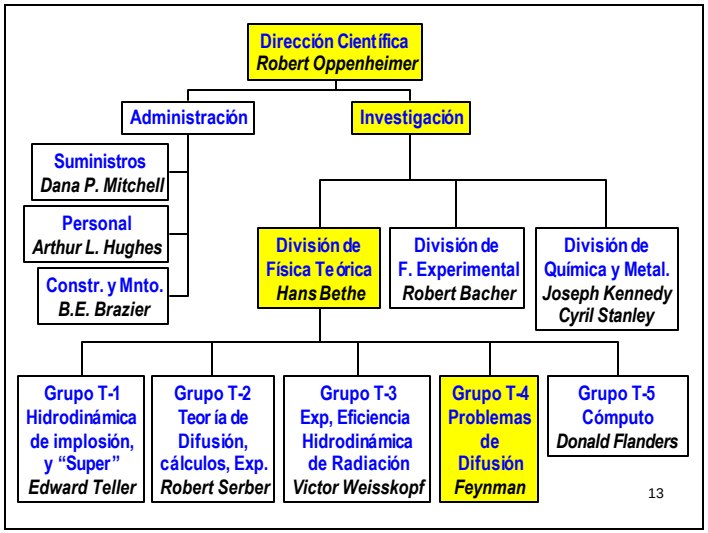
Se casa con Arline Greenbaum

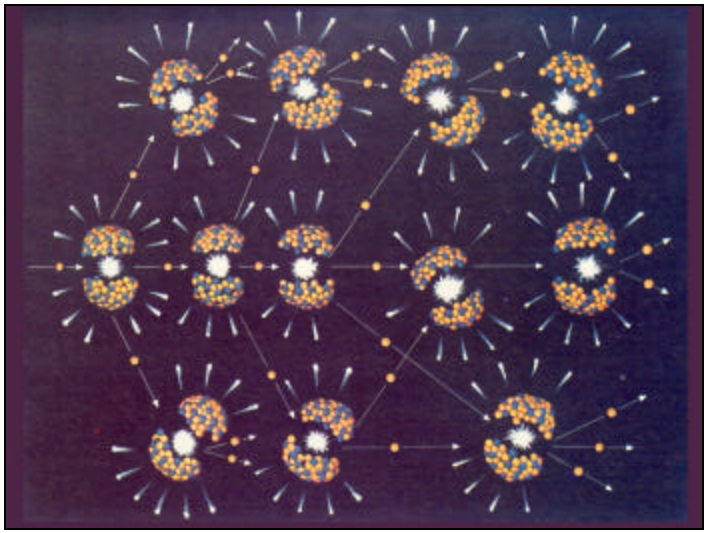
1943: Va a Los Alamos a continuar su trabajo en el Proyecto Manhattan

En Los Álamos

El más joven líder de grupo: *25 años*

12





- *Calcular la masa crítica del material fisionable y su rendimiento*
  - *Evaluar datos de experimentos de fisión y dispersión*
  - *Teoría de la difusión de los neutrones, trayectorias libres promedias, etc.*

$^{235}U_{92}$ ~ 50 Kg (diam ~ 17 cm)
$^{239}Pu_{94}$ ~ 10 Kg (diam ~ 10 cm)

15

- Octubre 1945: Termina su trabajo en el Proyecto Manhattan.
- 1946: Va de profesor a la U. de Cornell.
  En octubre muere el papá.
- 1948-1949:
  - ***"Abordaje Espacio-Temporal a la Mecánica Cuántica No-Relativista"***.
  - ***"Abordaje Espacio-Temporal a la Electrodinámica Cuántica"***.
  - Desarrollos de J. Schwinger y S. Tomonaga
- 1949: Freeman Dyson comprueba que los tres tratamientos de la Electrodinámica Cuántica son matemáticamente equivalentes.

16

A fines de los años 1920's, Dirac, Heisenberg, y Pauli formulan las leyes según las cuales se comportan los electrones en los átomos, emiten luz e interactúan con ella, o sea con el "campo electromagnético": *Electrodinámica Cuántica*.

Durante unos 20 años la teoría fue suficientemente exacta para explicar los experimentos.

18

Pero la teoría tenía problemas:

1. Infinitos:

Al tratar de calcular con mayor precisión, la corrección que se suponía debía ser pequeña (por ejemplo el siguiente término de una serie) resultaba infinita!

Los infinitos se deben en especial a la auto-interacción del electrón con su propio campo.

19

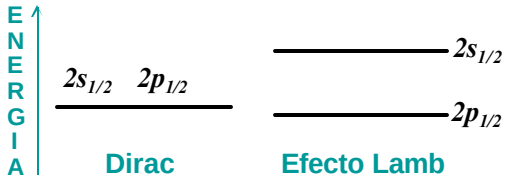
2. Momento magnético del electrón:

La teoría de Dirac establecía que el electrón tenía un momento magnético igual a 1 μ_B , pero en 1948 se halló experimentalmente que su valor era cercano a 1,00118 ± 0,00003 μ_B.

20

3. Efecto Lamb:

En 1947 Willis Lamb descubrió que niveles de energía del átomo de hidrógeno, que según la teoría deberían ser iguales, eran diferentes:



21

Hans Bethe comenzó a resolver el problema del *efecto Lamb*, y de los infinitos mediante "renormalización", (una manera de "restar" infinitos) técnica que fue más desarrollada por Julian Schwinger, Shin-ichiro Tomonaga y Feynman.

Hans Bethe
1906-2005

22

Los trabajos de Tomonaga y Schwinger son más afines entre sí.

Julian Schwinger
(1918-1994)

Shin-ichiro Tomonaga
(1906-1979)

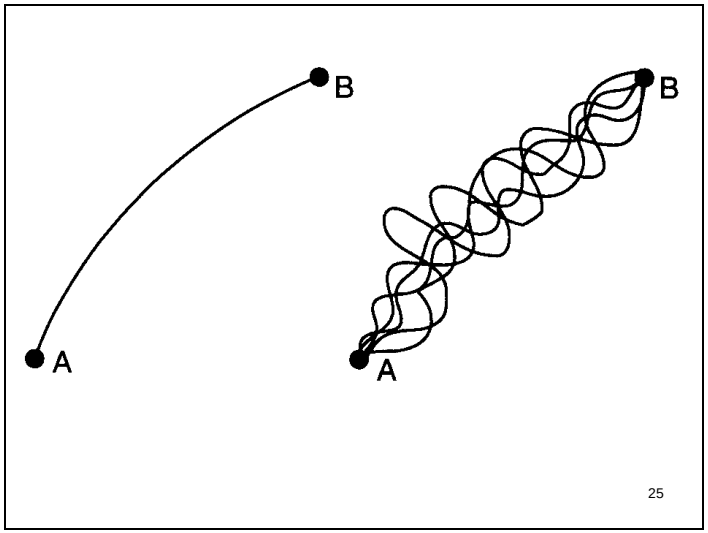
23

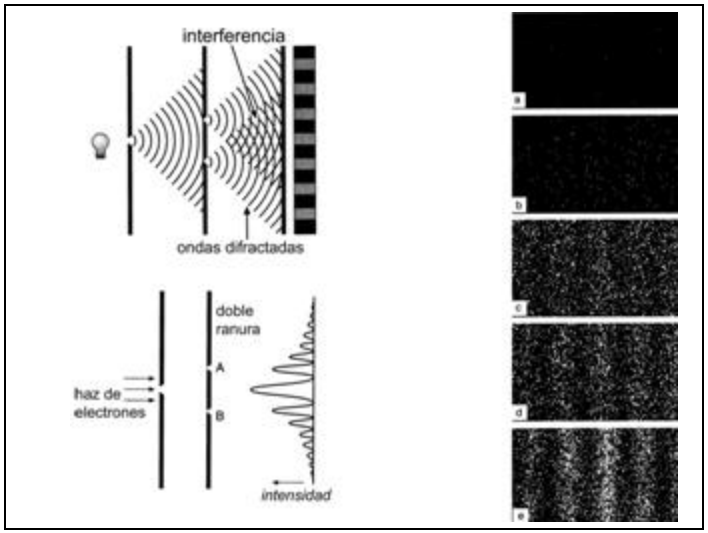
El enfoque de Feynman es más *sui géneris*

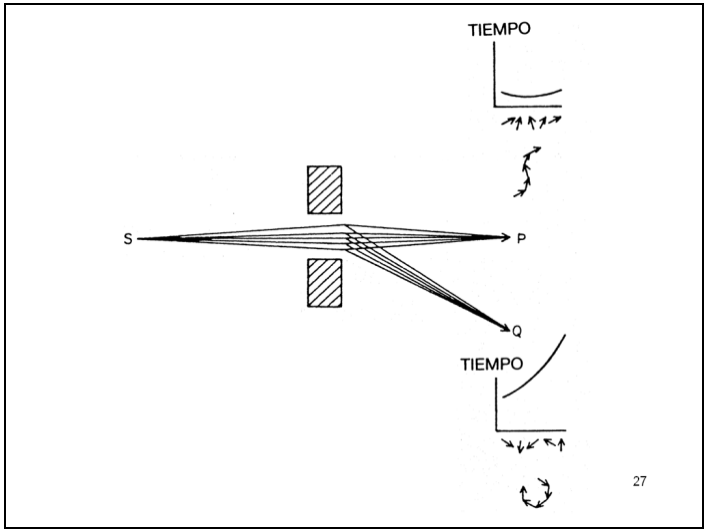
Propuso la "suma de historias" o "integral de camino":

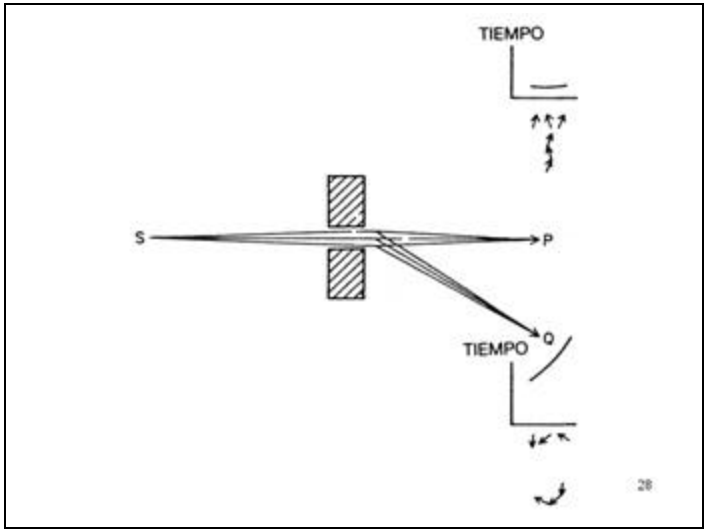
Para hallar la amplitud de la probabilidad de una transición, sumar las contribuciones de cada trayectoria posible de la partícula en el espacio-tiempo. Cada trayectoria con su factor de "fase" propio.

24


B
A
B
A
25


interferencia
ondas difractadas
doble
ranura
haz de
electrones
A
B
intensidad
a
b
c
d
e


TIEMPO
S
P
Q
TIEMPO
27

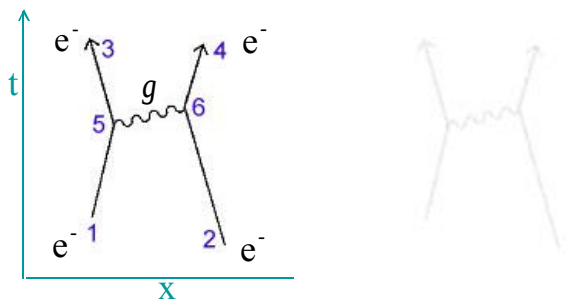

TIEMPO
S
P
Q
TIEMPO
28

De este enfoque derivó una representación gráfica de las interacciones, conocida como "Diagramas de Feynman", que volvió la teoría mucho más fácil de manejar.

Un diagrama de Feynman representa los fotones y electrones en el espacio-tiempo.

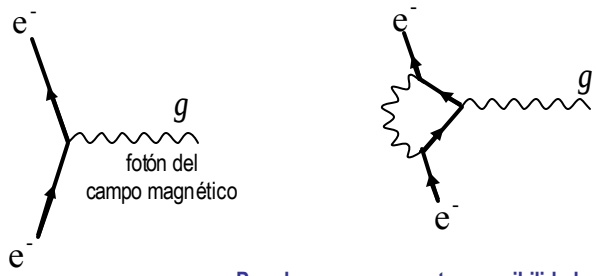
29

Los "diagramas de Feynman" se han vuelto herramientas invaluables y estándar de la física cuántica.



30

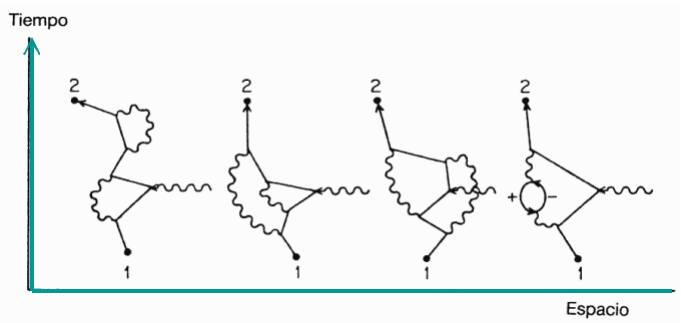
Ejemplo: Interacción entre un electrón y un campo magnético



Así corresponde a la teoría de Dirac.

Pero hay que sumar otras posibilidades:
Emitiendo y reabsorbiendo un fotón virtual
Emitiendo y reabsorbiendo 2 fotones virtuales
Etc. etc…

31



Al sumar más y más "caminos" posibles se logra mayor exactitud: Un mayor acuerdo con el resultado medido experimentalmente

32

La Electrodinámica Cuántica es la descripción más satisfactoria de cosas como el comportamiento de electrones, positrones, las interacciones electromagnéticas y la creación y aniquilación de partículas.

33

Es la "joya" de la física por su precisión:

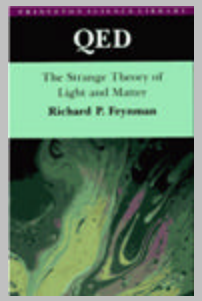
Momento magnético del electrón:
1,0011596521859 ± 0,0000000000038 μ_B

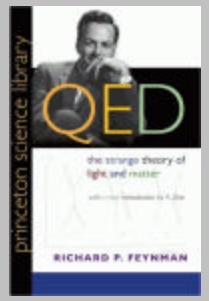
La concordancia entre la medida experimental y el valor que da la teoría es tal que:

"Si se midiese la distancia entre Los Ángeles y Nueva York con semejante precisión, su valor diferiría del correcto en el espesor de un cabello humano."

R. P. Feynman

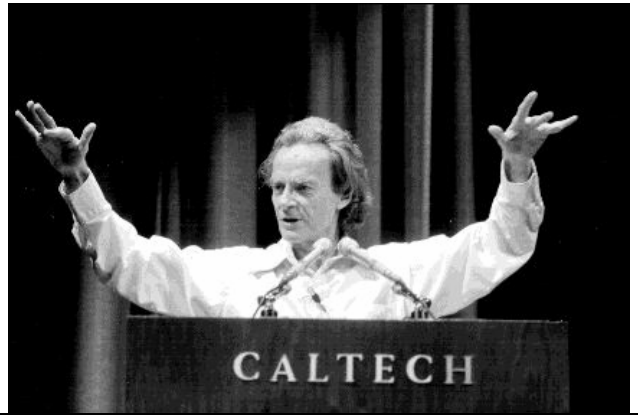
Exposición sencilla de la Electrodinámica Cuántica de Feynman





35

- 1950: Va de profesor al Instituto Tecnológico de California (CALTECH).



- 1953 ~ 1958: Teoría mecánico-cuántica de la superfluidez (viscosidad nula) del Helio cercano al cero absoluto (y estudios sobre la superconductividad en los que no tuvo éxito).

99,99 %

Superfluidez:

^{4}He a T = 2.17 ^{o}K

^{3}He a T = 0.002 ^{o}K

37

- 1960: Matrimonio con Gweneth Howarth, inglesa

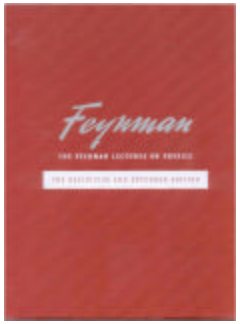
38

- 1962:

  Nace hijo Carl

Feynman Lectures on Physics

Richard Feynman, Robert Leighton y Matthew Sands



Vol. 1:
Mecánica, radiación, calor

Vol. 2:
Principalmente el electromagnetismo y la materia

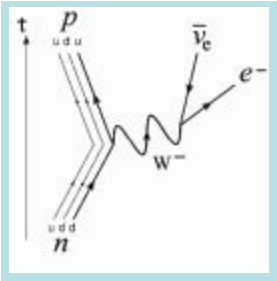
Vol. 3: ***Mecánica cuántica***

40

- Estudió, con Murray Gell-Mann, una ley fundamental que describe el comportamiento de la interacción nuclear débil.
  - Ejemplo:

    la desintegración Beta:

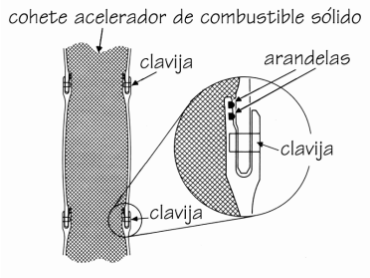
$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$



- 1979 le diagnostican un cáncer abdominal.
- En los 1980, Se popularizan sus libros:
  - *"Surely You're Joking, Mr. Feynman!"*
  - *"What Do You Care What Other People Think?"*

42

1986: Participa en la investigación del accidente del transbordador Challenger



10 de Febrero de 1986

43

Richard Feynman murió en Los Angeles el 15 de Febrero de 1988

44

El Feynman instigador e inspirador

- **Nanotecnología**
  - *"There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics".*
    Encuentro anual de la APS, Dic. 29,1959.
- **Computación Cuántica**
  - *"Simulating Physics with computers"*.
    Internat. Journ. of Theoretical Physics, 1982.

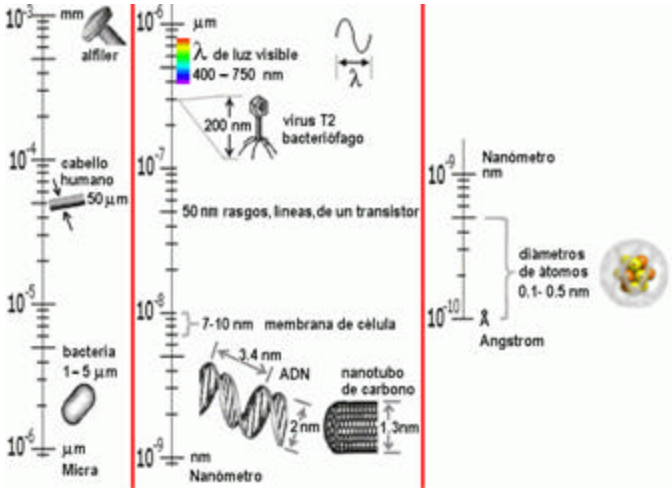
There's Plenty of Room at the Bottom

Propone la fabricación de materiales y el ensamblaje de artefactos a nivel de átomos y moléculas, aseverando que ningún principio físico impide tal manipulación.

- "Porqué no podemos escribir los 24 volúmenes de la Enciclopedia Británica en la cabeza de un alfiler?"

Reducida 25000 veces, el punto mínimo aun tendría cerca de 1000 átomos, realizable por un proceso de fotograbado.

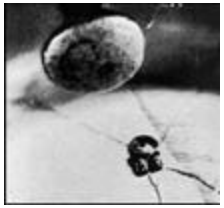
El nombre de "nanotecnología" solo vendría a aparecer en 1974.



Lanzó dos retos: Ofreció 1000 dólares a quien primero realizara alguno:

1. *Construir un motor eléctrico rotatorio del tamaño de un cubo de 1/64 de pulgada de lado (< 0,4 mm).*

Menos de un año después, Bill McLellan, egresado de Caltech, ganó el premio.



En 1983 Feynman predijo la posibilidad de fabricar motores 64.000 veces más pequeños, y miles de ellos a la vez.

49

Segundo reto:

2. *Poner la información de una página de un libro en un área en un área 1/25000 menor y legible mediante un microscopio electrónico.*

En 1985, Tom Newman, de la U. de Stanford, usando litografía por haz de electrones, copió así la primera página de *"Historia de dos ciudades"* de Charles Dickens.

50

Simulating Physics with computers

1. En la física clásica el tamaño de la descripción de un sistema de N partículas depende linealmente de N, pero en física cuántica depende exponencialmente de N.

51

Simulating Physics with computers

2. Entonces un computador ordinario puede simular un sistema de N partículas de la física clásica con solamente una degradación polinomial (o sea proporcional a N^K), pero la simulación de un sistema cuántico de N partículas es ineficiente, con una degradación exponencial (o sea proporcional a 2^N)

52

Simulating Physics with computers

3. Sugiere que esto podría solucionarse con un computador que funcionara él mismo aprovechando las leyes de la mecánica cuántica

53

Computación Cuántica

La teoría matemática de la computación, como la "Máquina de Turing", ha asumido implícitamente una manera en que la información se almacena y manipula, basada en el sentido común (que corresponden a la "física clásica"), pero esta deja de ser válida a escalas muy pequeñas, donde el almacenamiento y la manipulación obedecen a la física cuántica.

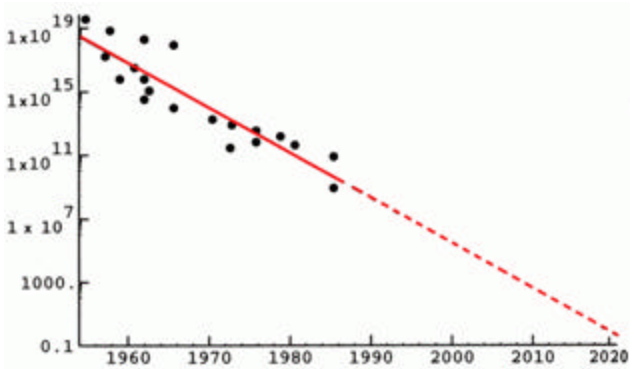
54

En un computador "clásico" el dato mínimo (bit) se representa por el estado de algún elemento que sólo puede estar en un estado a la vez (cero o uno). Un registro de n bits representa solamente uno de entre sus 2^n estados posibles.

En física cuántica hay "superposición de estados": una partícula está simultáneamente en muchos estados. Todos los 2^n valores se almacenan simultáneamente. El cómputo se hace mediante transformaciones que se aplican a todos los valores al mismo tiempo.

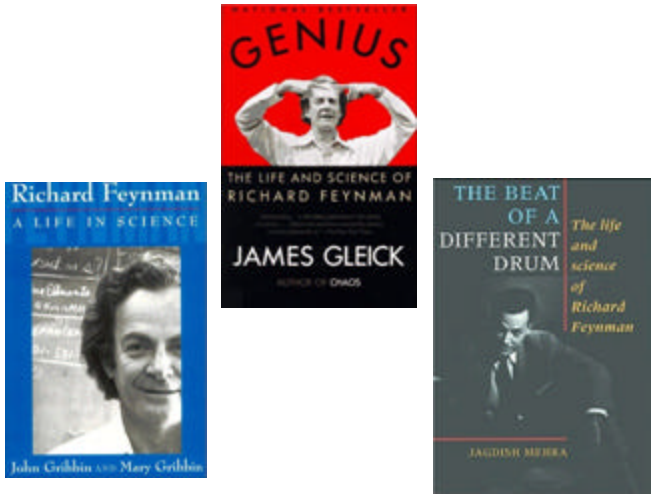
55

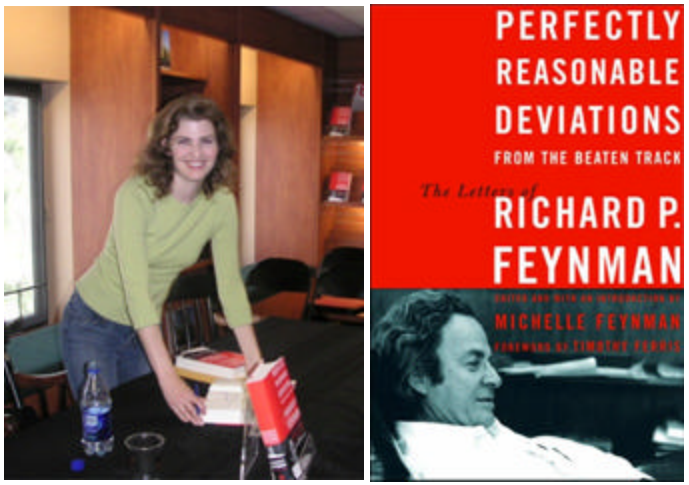
Átomos usados para representar un bit



Fuente: Keyes, R.W, *"Miniaturization of Electronics and its limits"*, IBM Journal of Research and Development., Vol. 32, Enero 1988, pp. 24-28

56





Gracias por su atención

59