

De que estamos hechos?

Moléculas, átomos, núcleos, partículas, quarks...

Ricardo Piegaiá

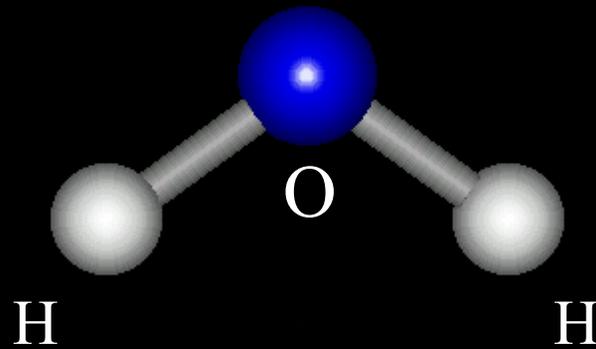
Depto. de Física - FCEyN

Mayo 2005

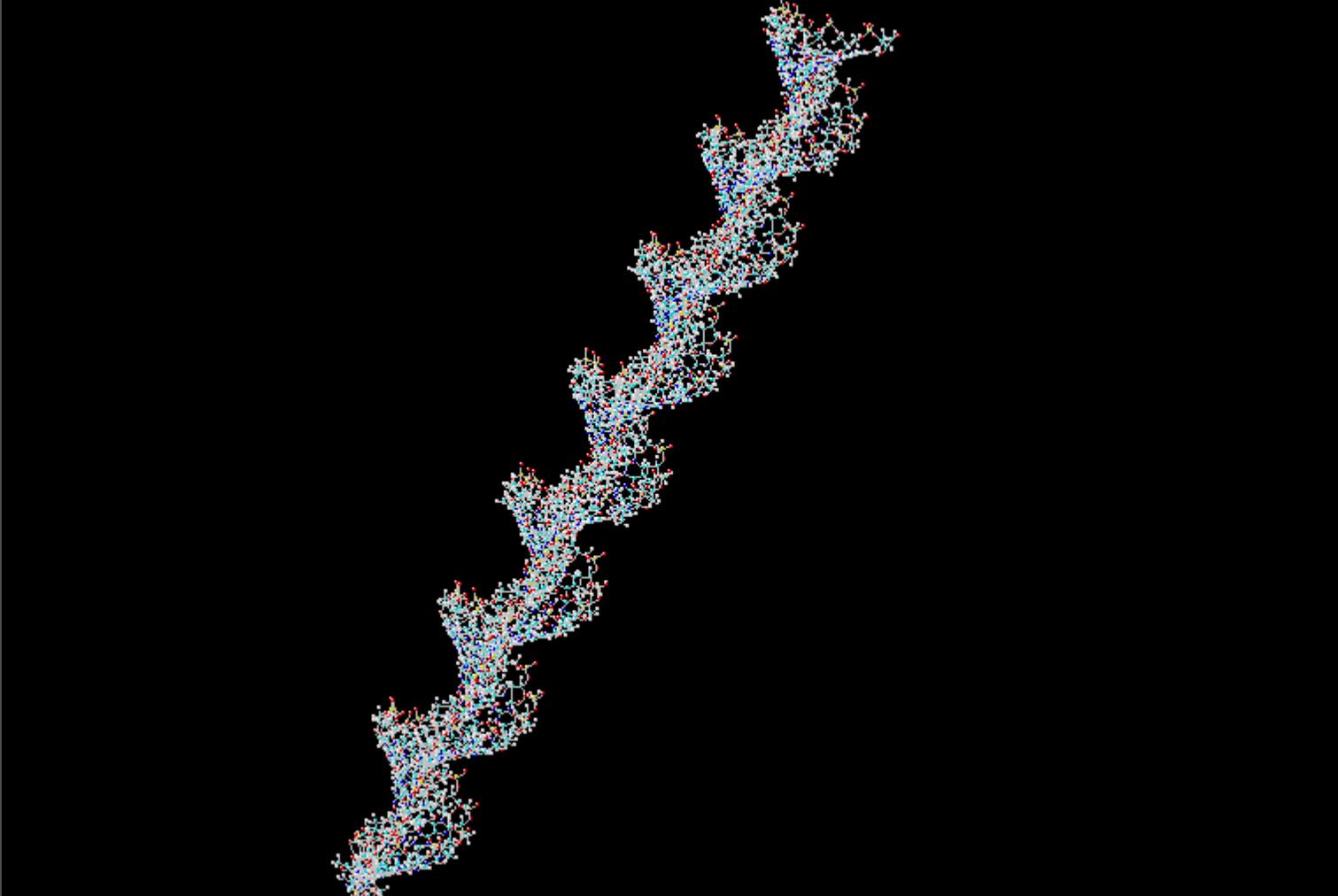
**Toda la materia está formada
por átomos y moléculas**

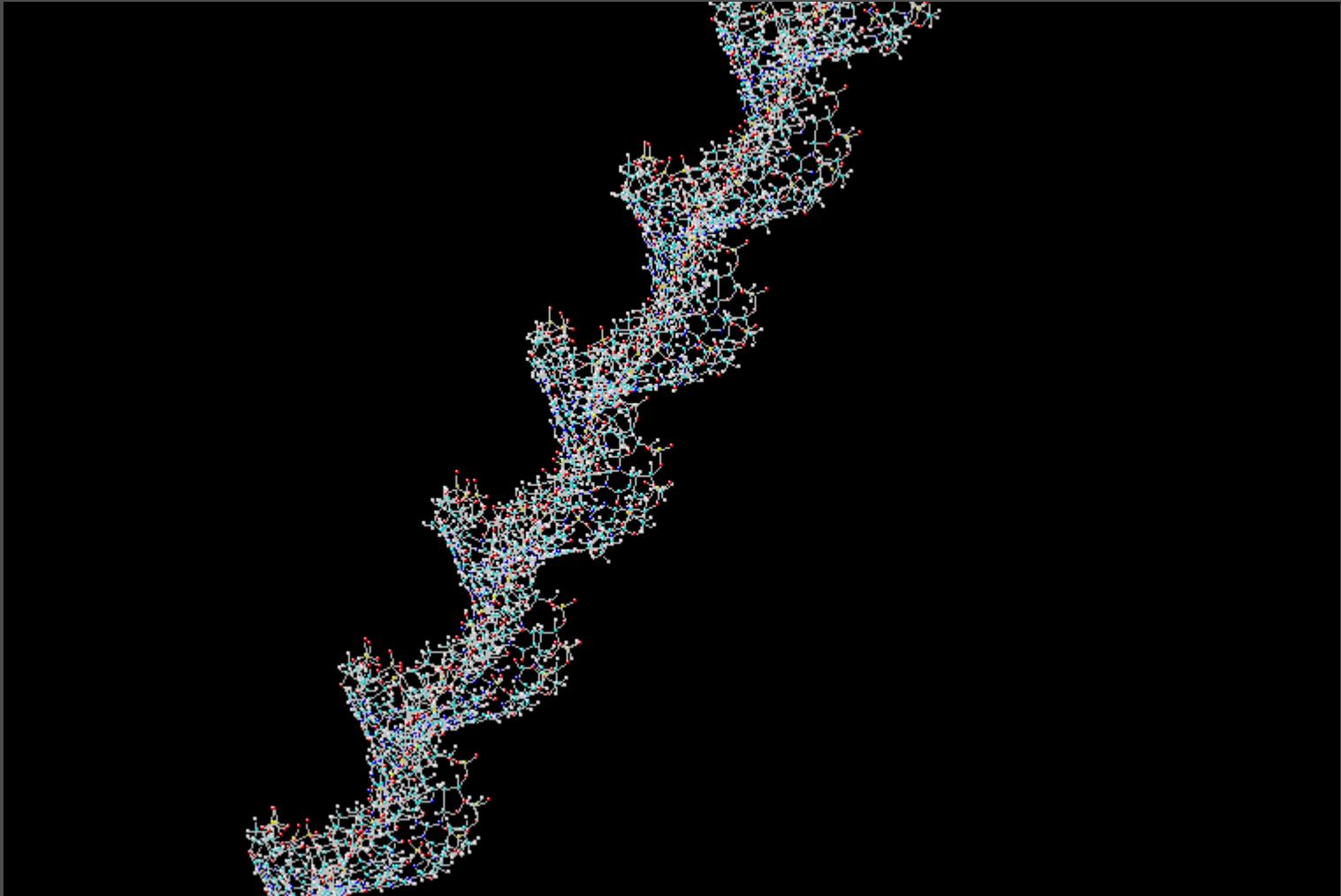
**Hay miles de millones de moléculas distintas,
lo que explica la enorme diversidad de
seres vivos y objetos inertes que existen**

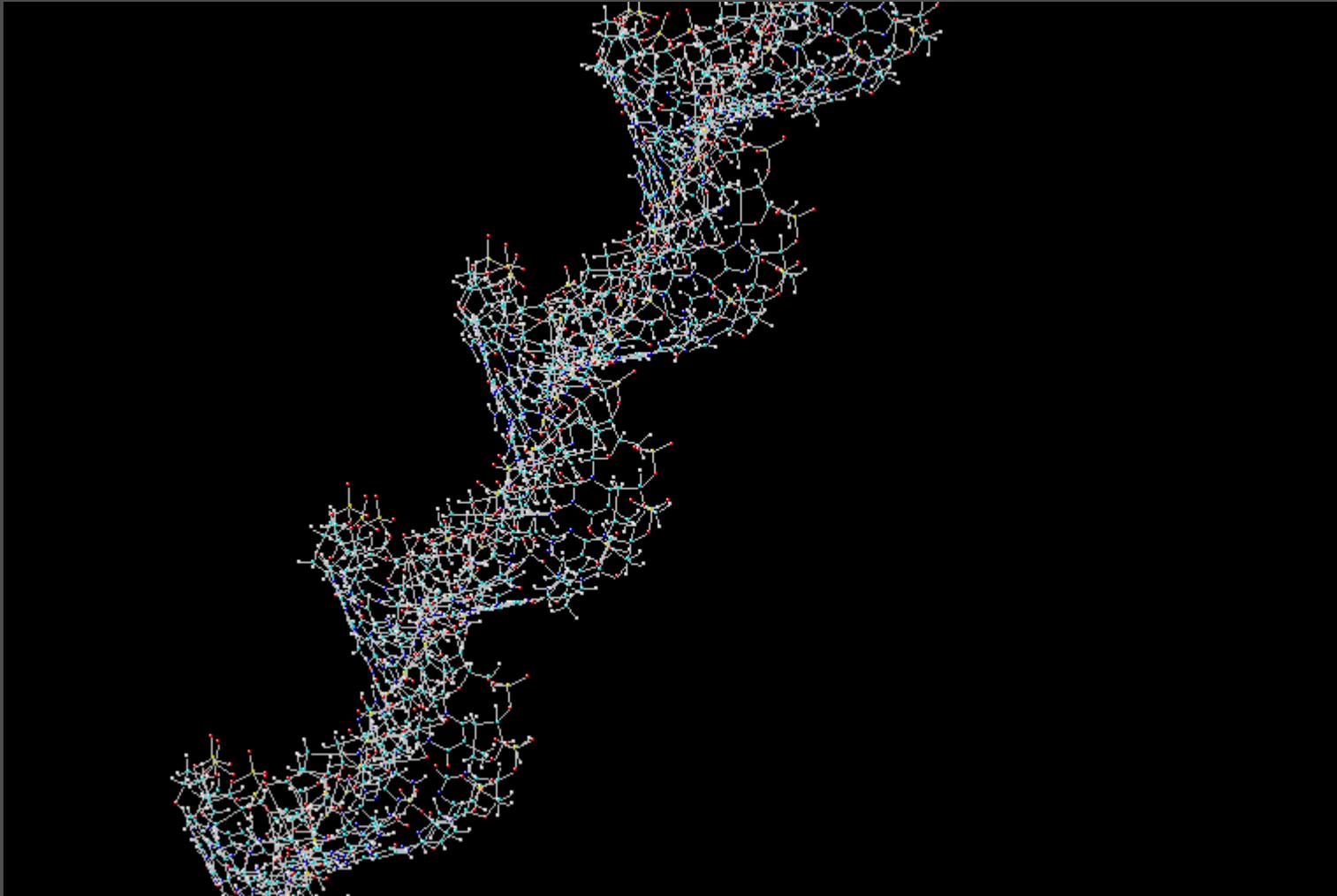
**Hay moléculas simples, compuestas de unos pocos átomos,
como en el caso del agua (H₂O) ...**

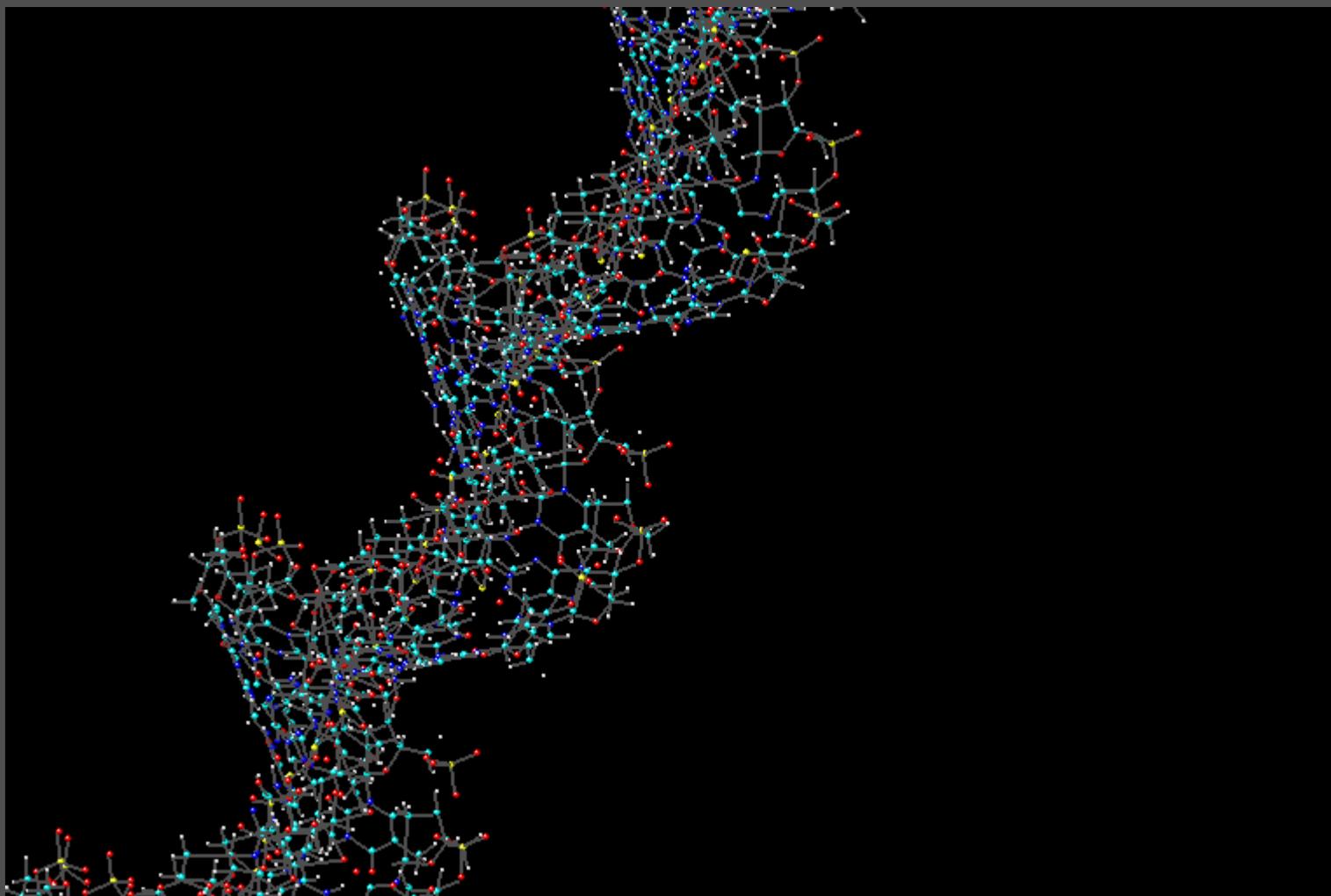


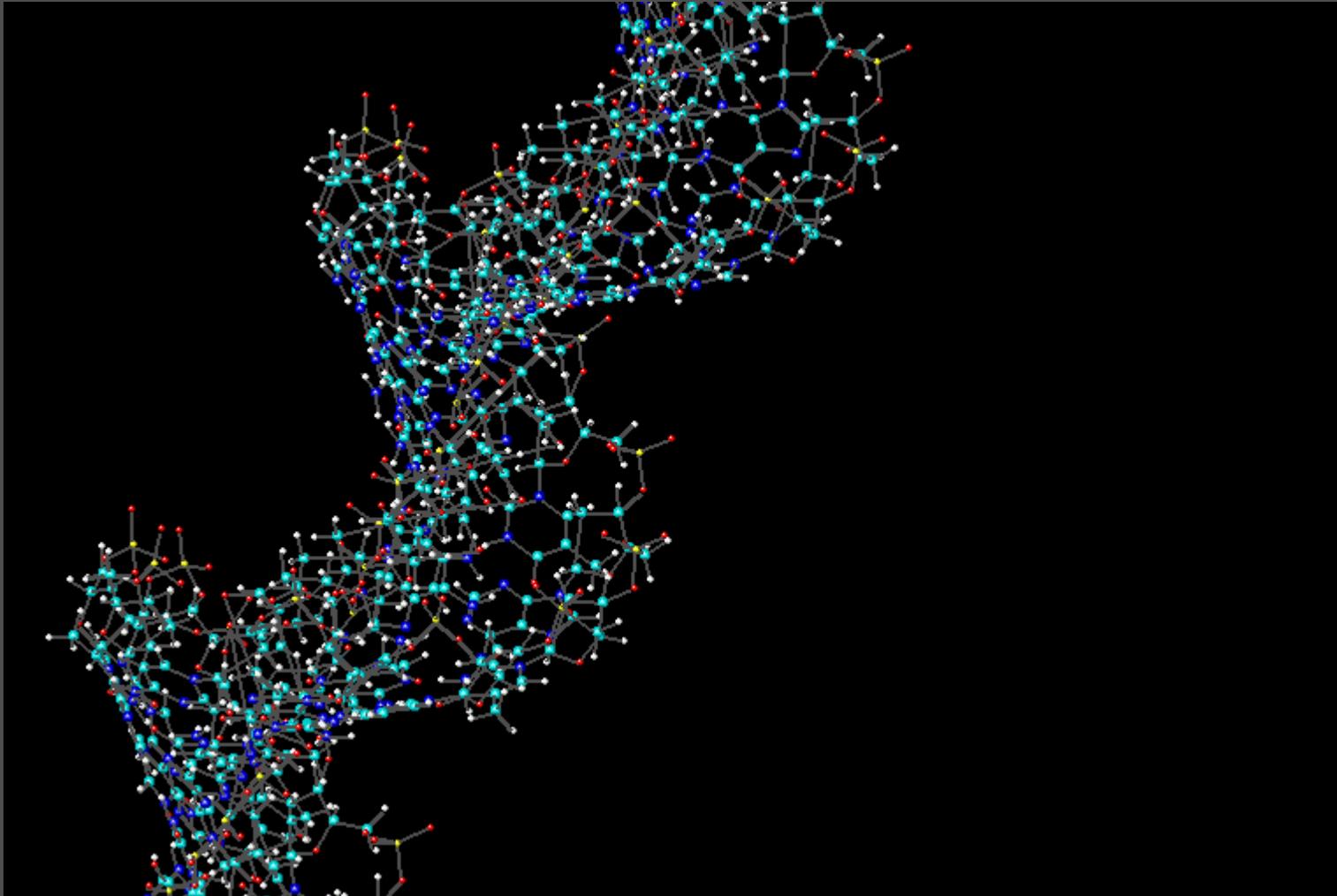
... y molécula complejas, con millones de millones de átomos,
como el ADN, la molécula que constituye los genes:

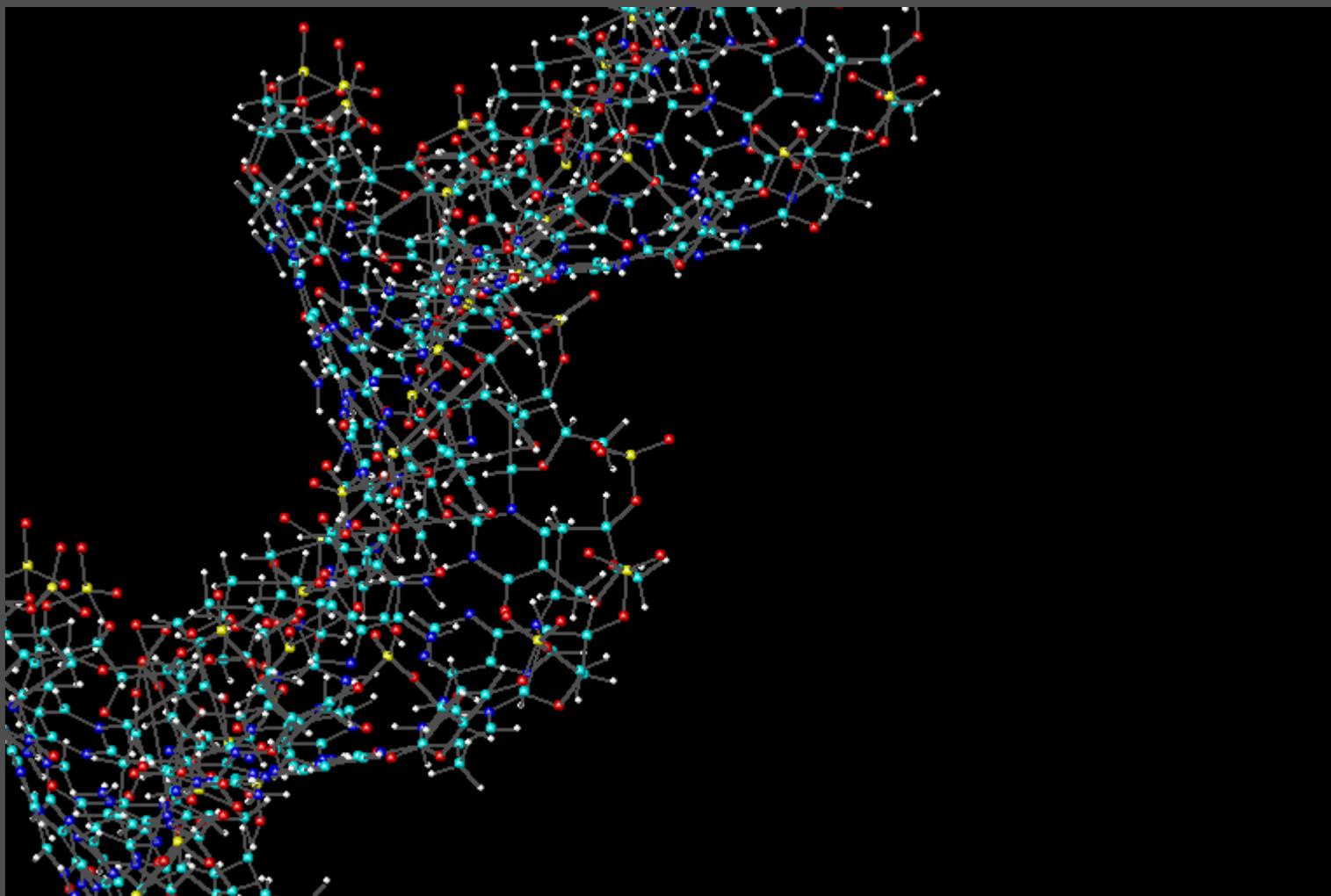


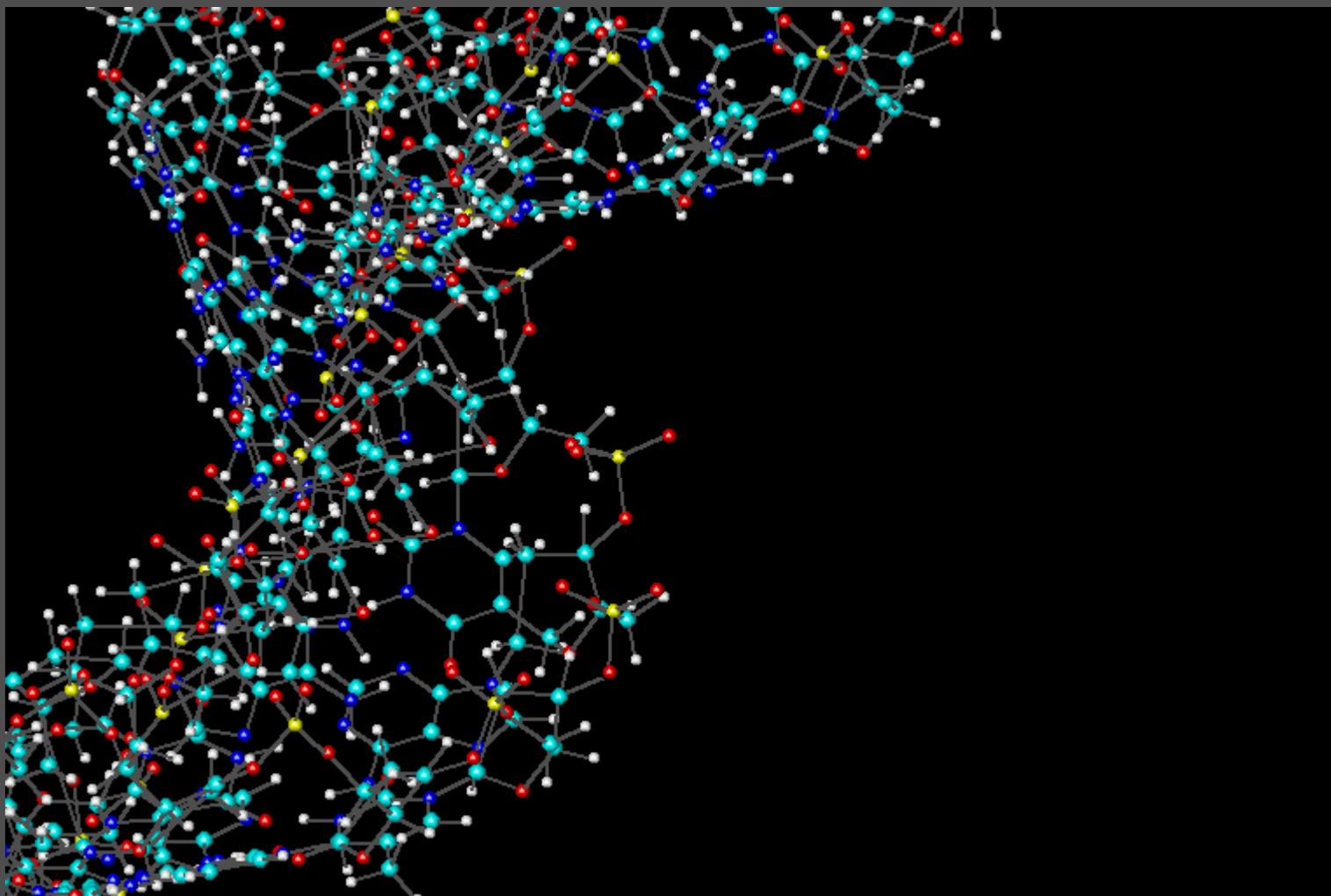


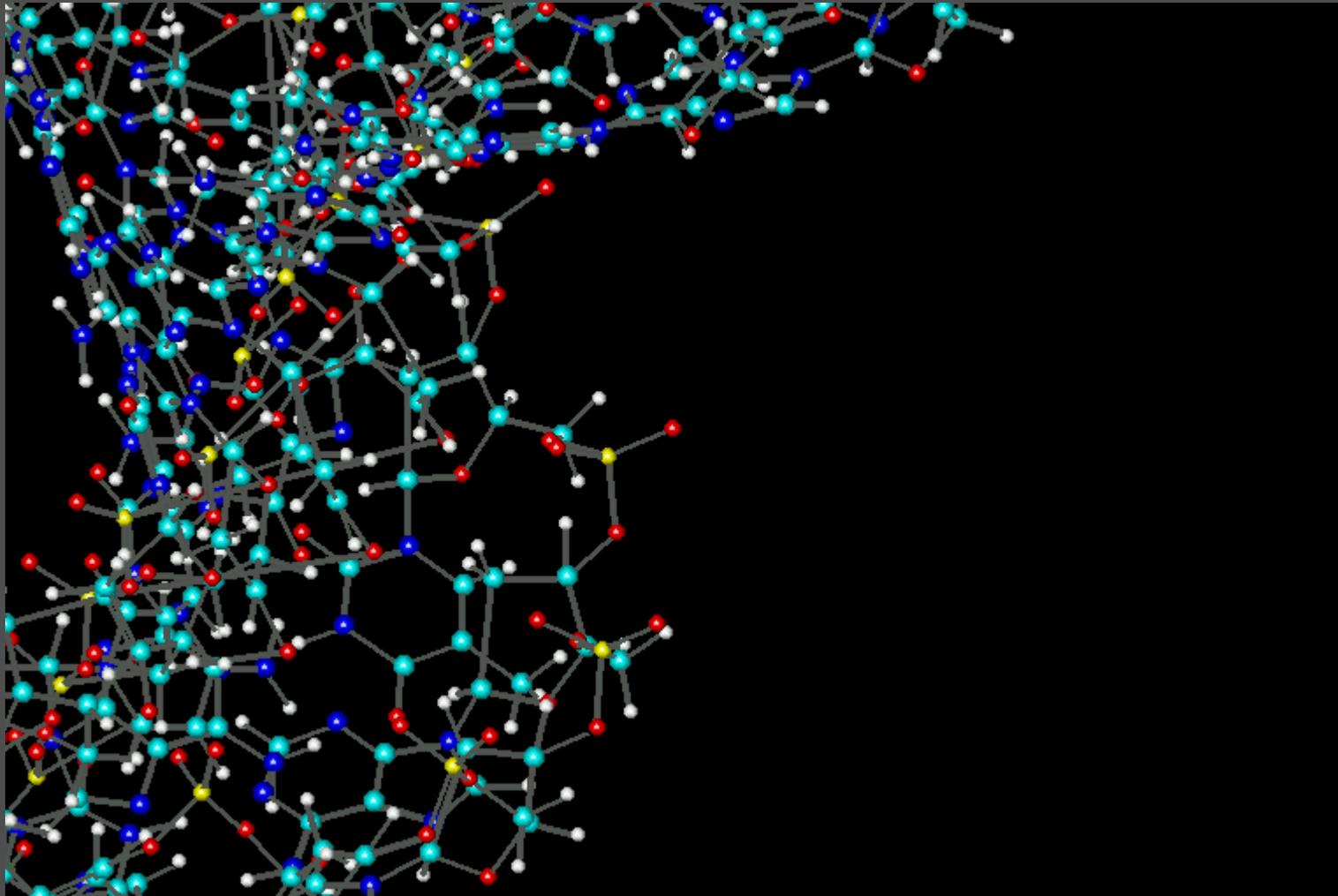


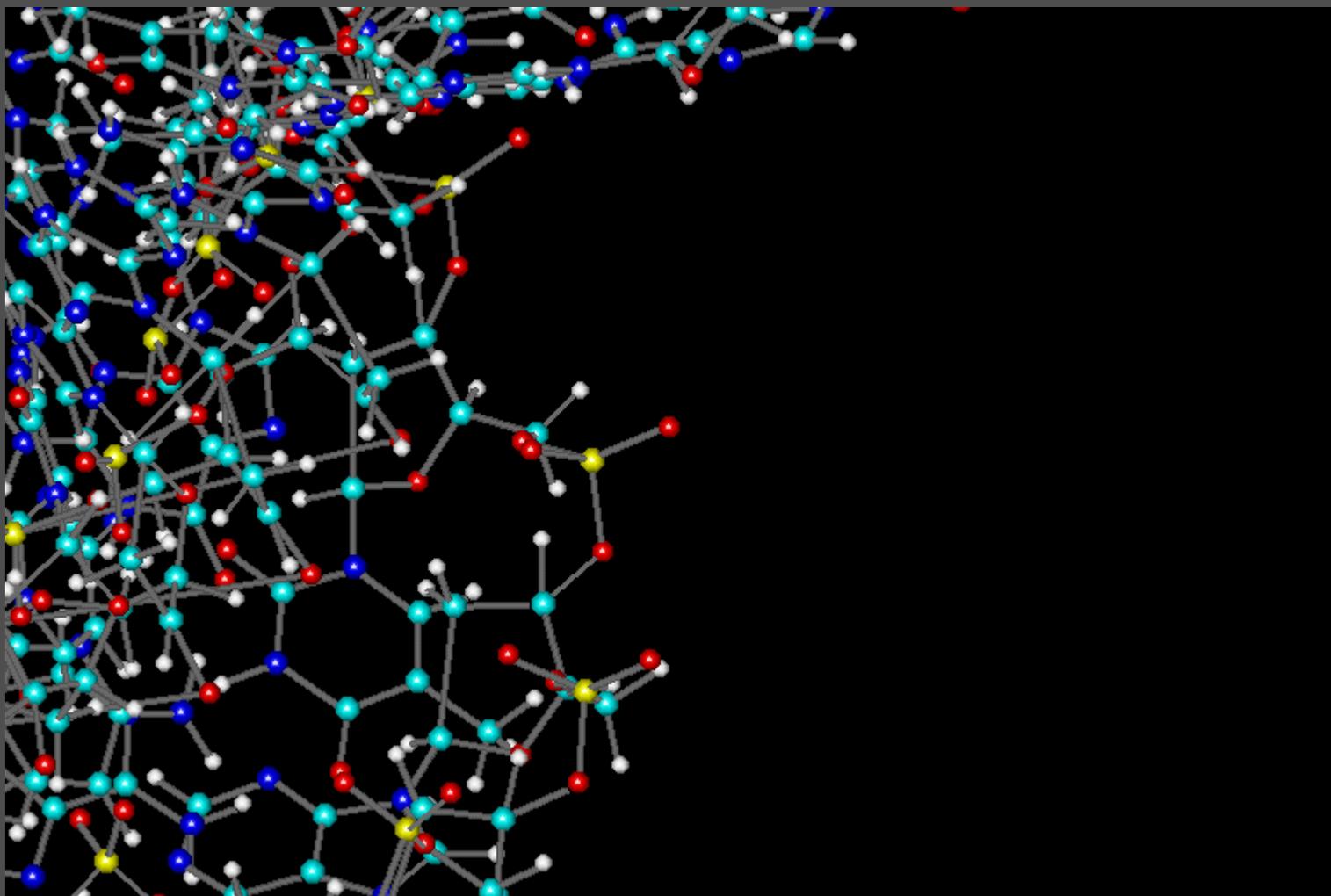


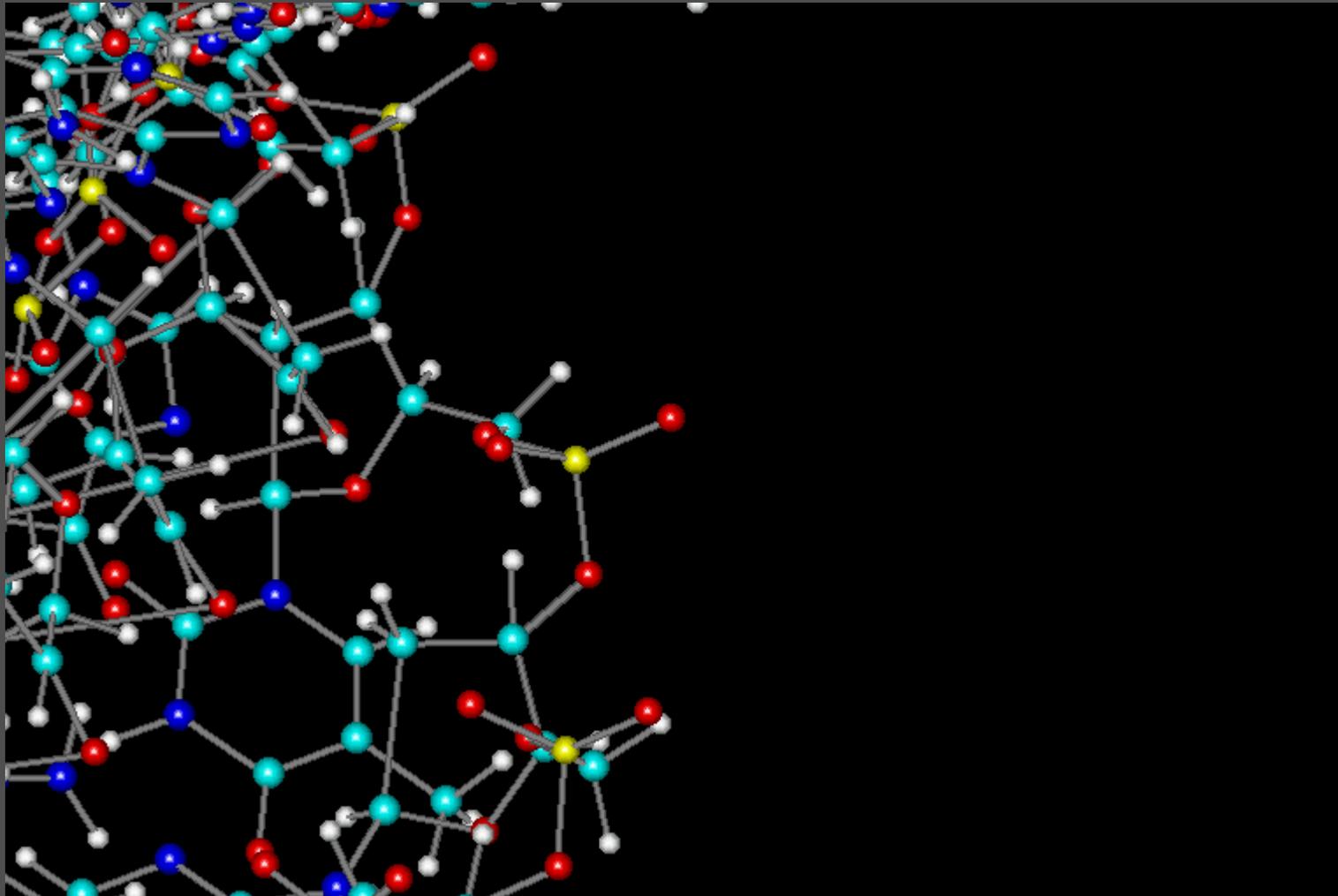


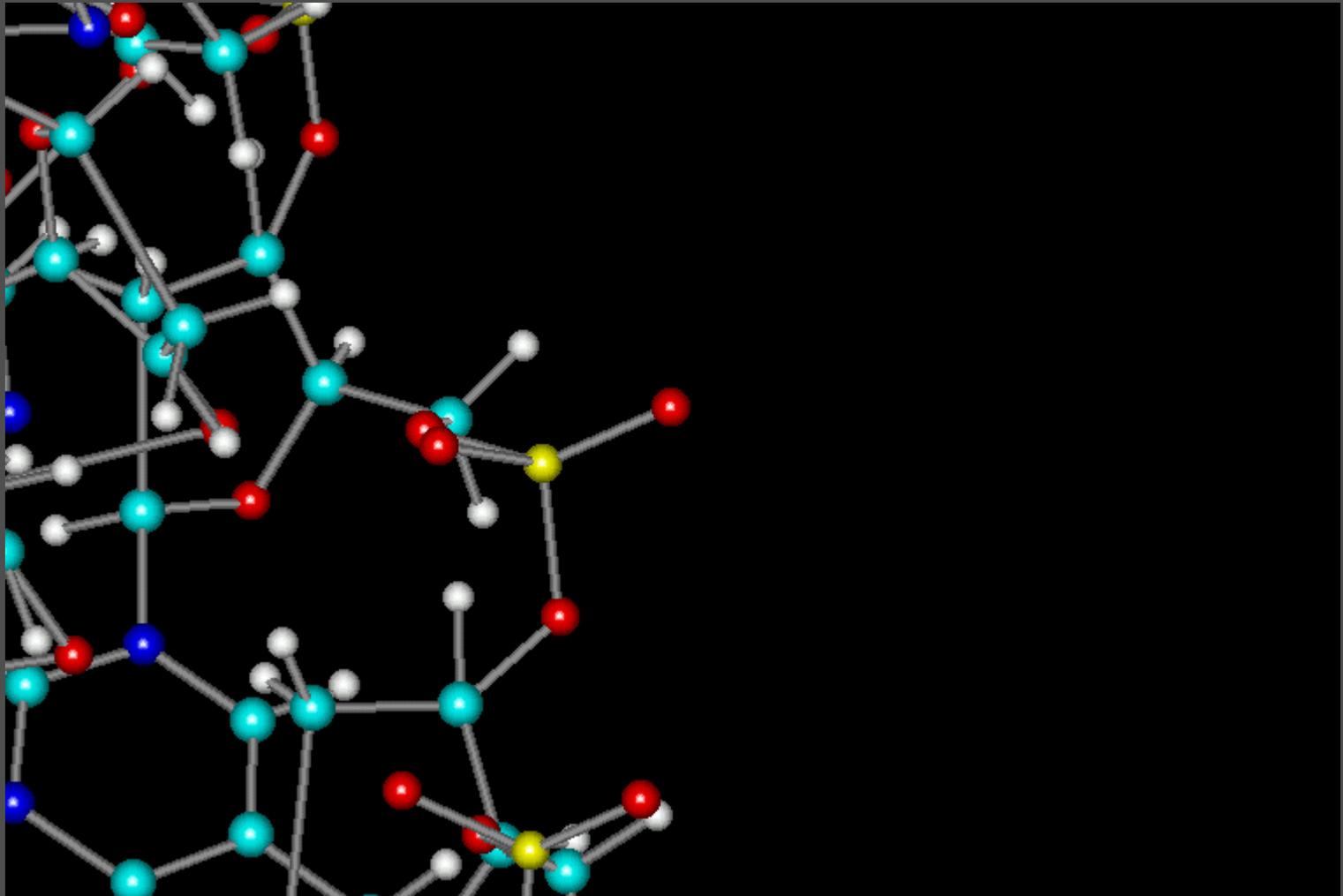


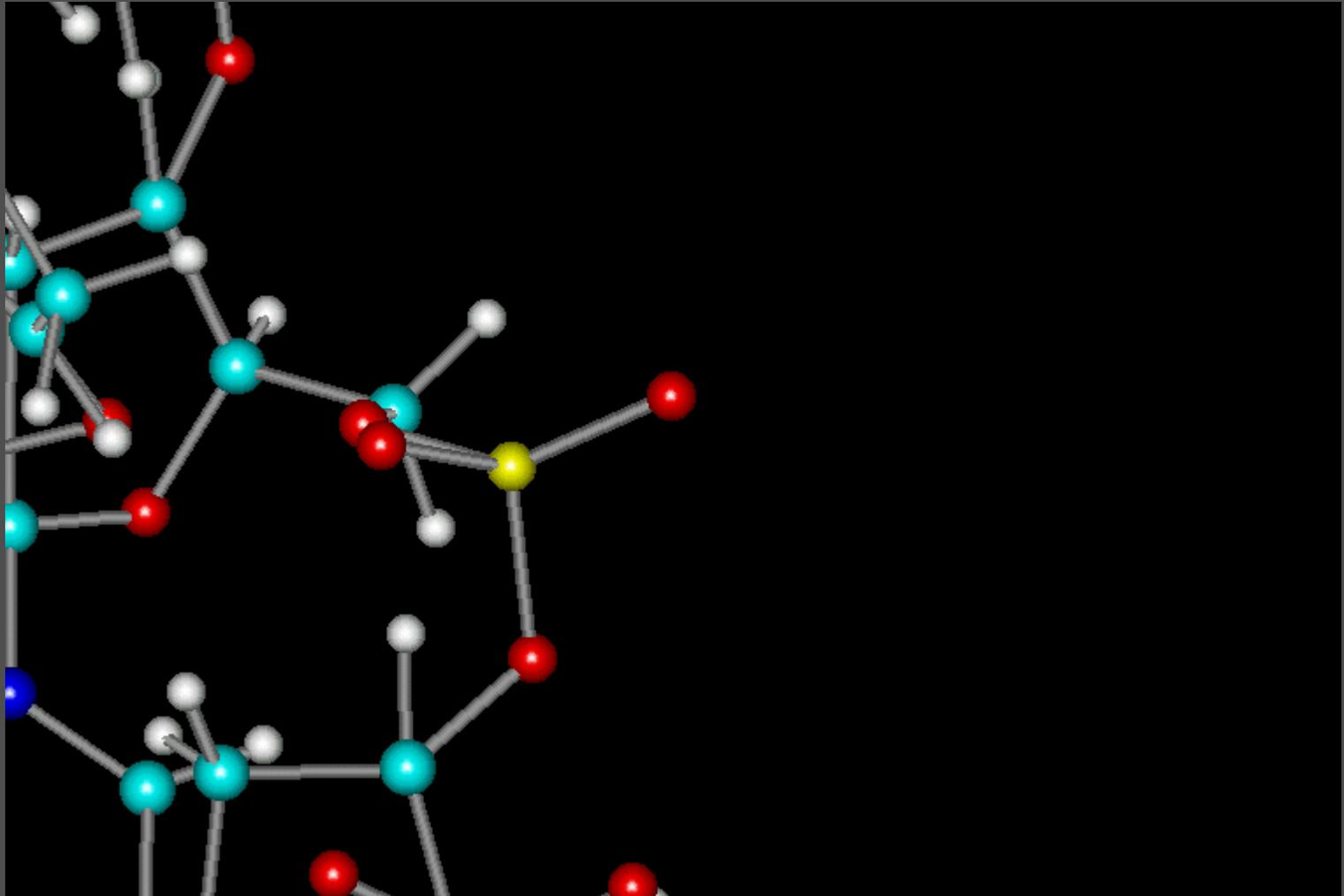


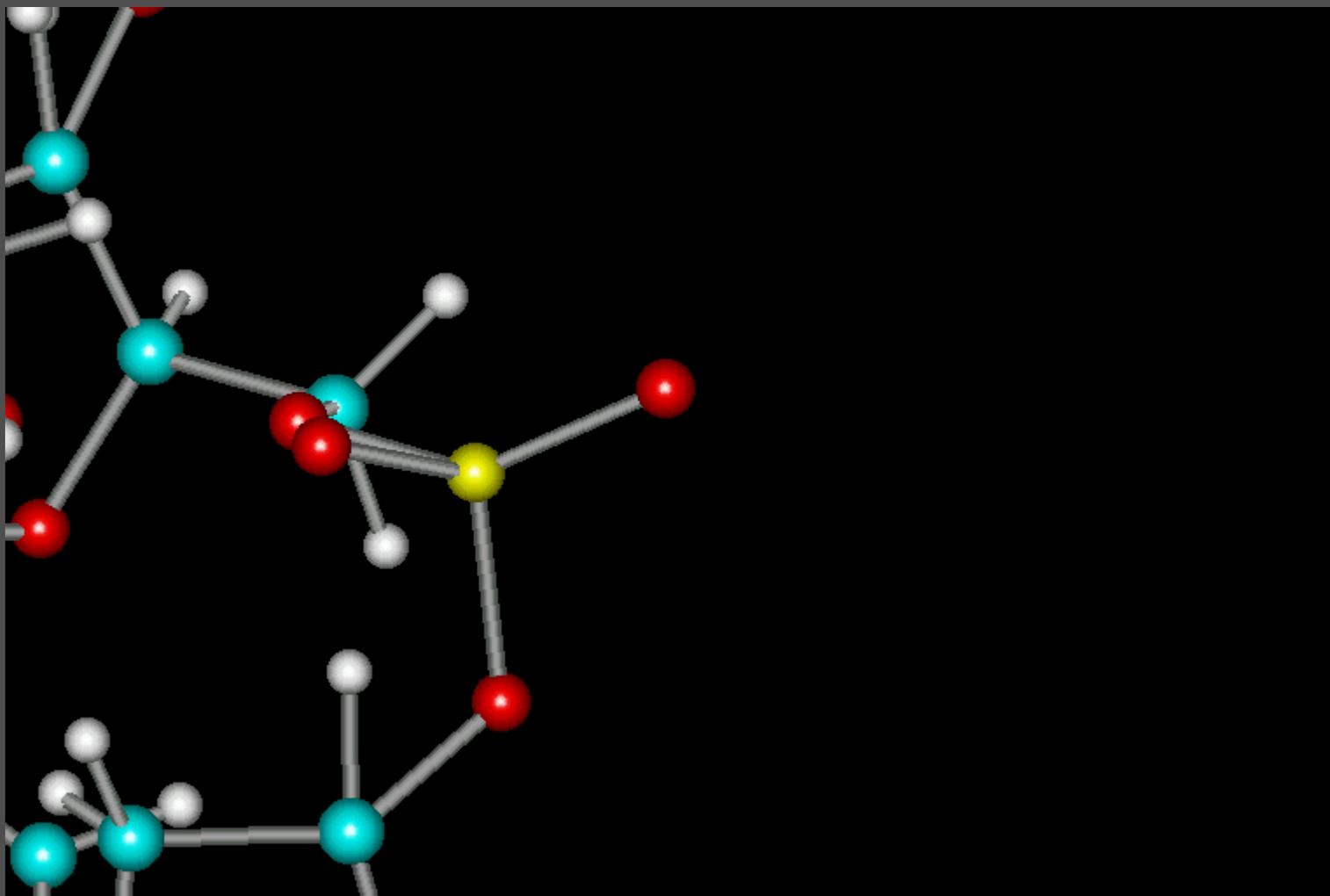


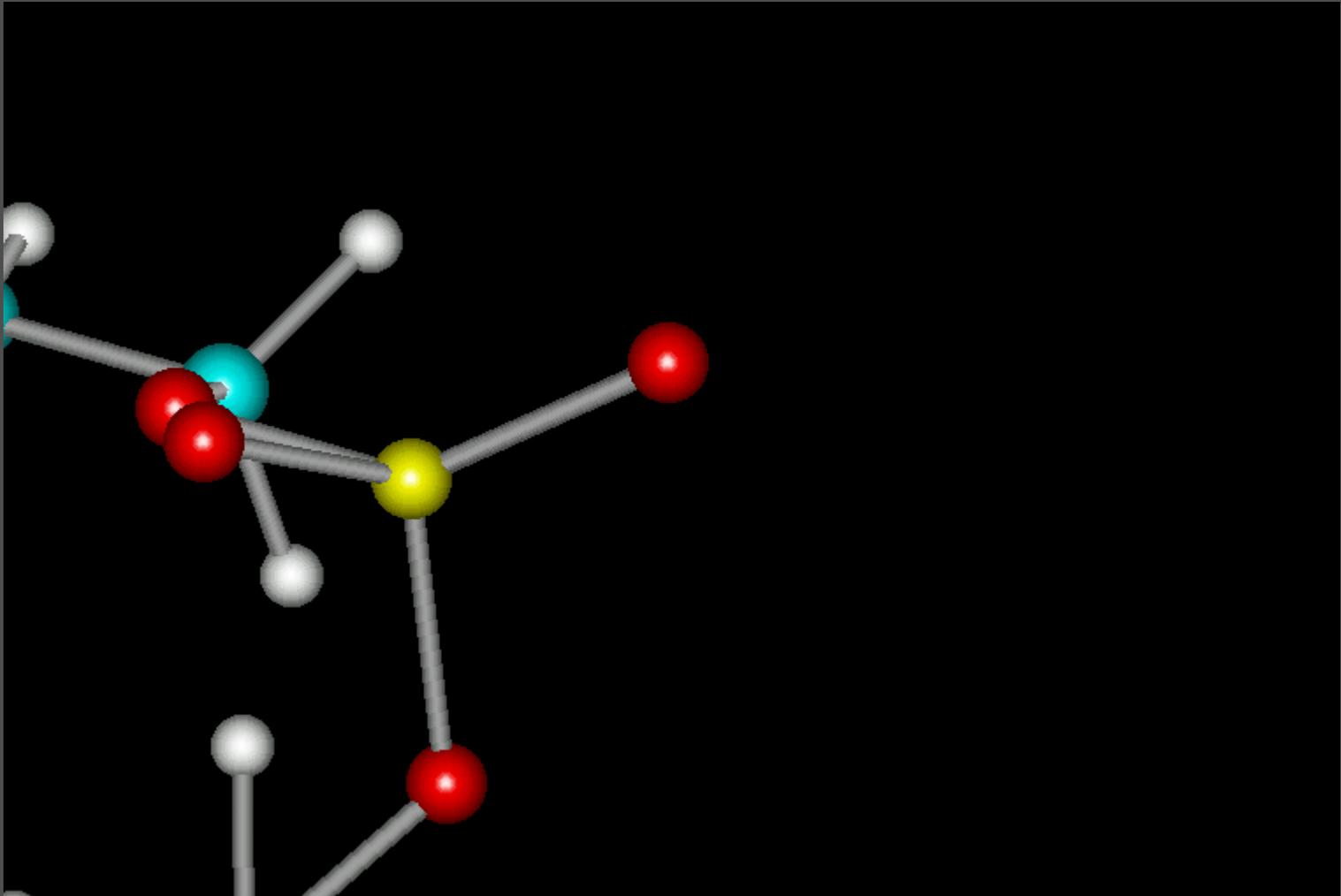










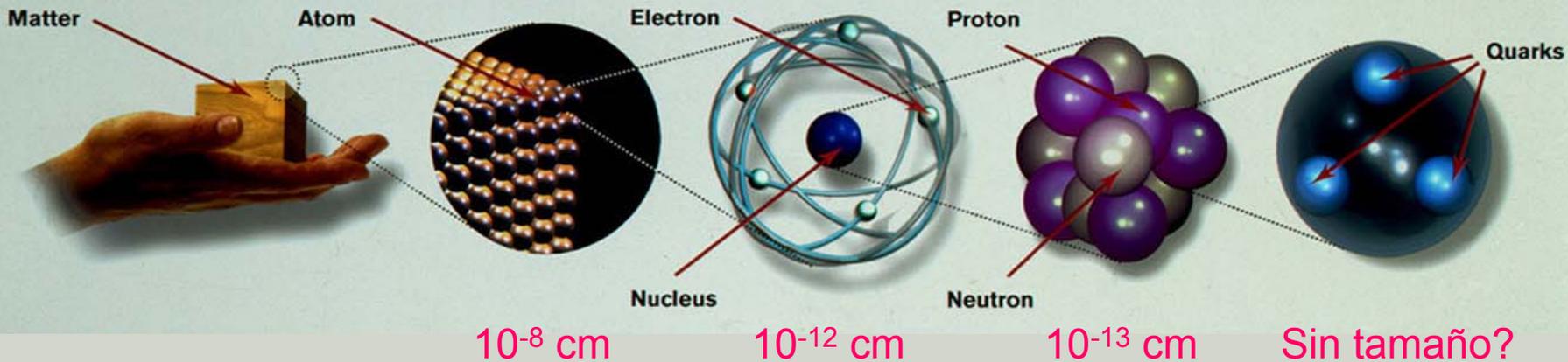


... todo compuesto de átomos.

Pero los átomos son objetos compuestos.

Se requiere estudiar la estructura de la materia a distancias cada vez más pequeñas ➔ Partículas elementales

La materia ➔ Átomos y moléculas ➔ Núcleo y electrón ➔ Protón y Neutrón ➔ Quarks



$$10^{-8} = \underbrace{0.00000001}_{\text{ocho ceros}}$$

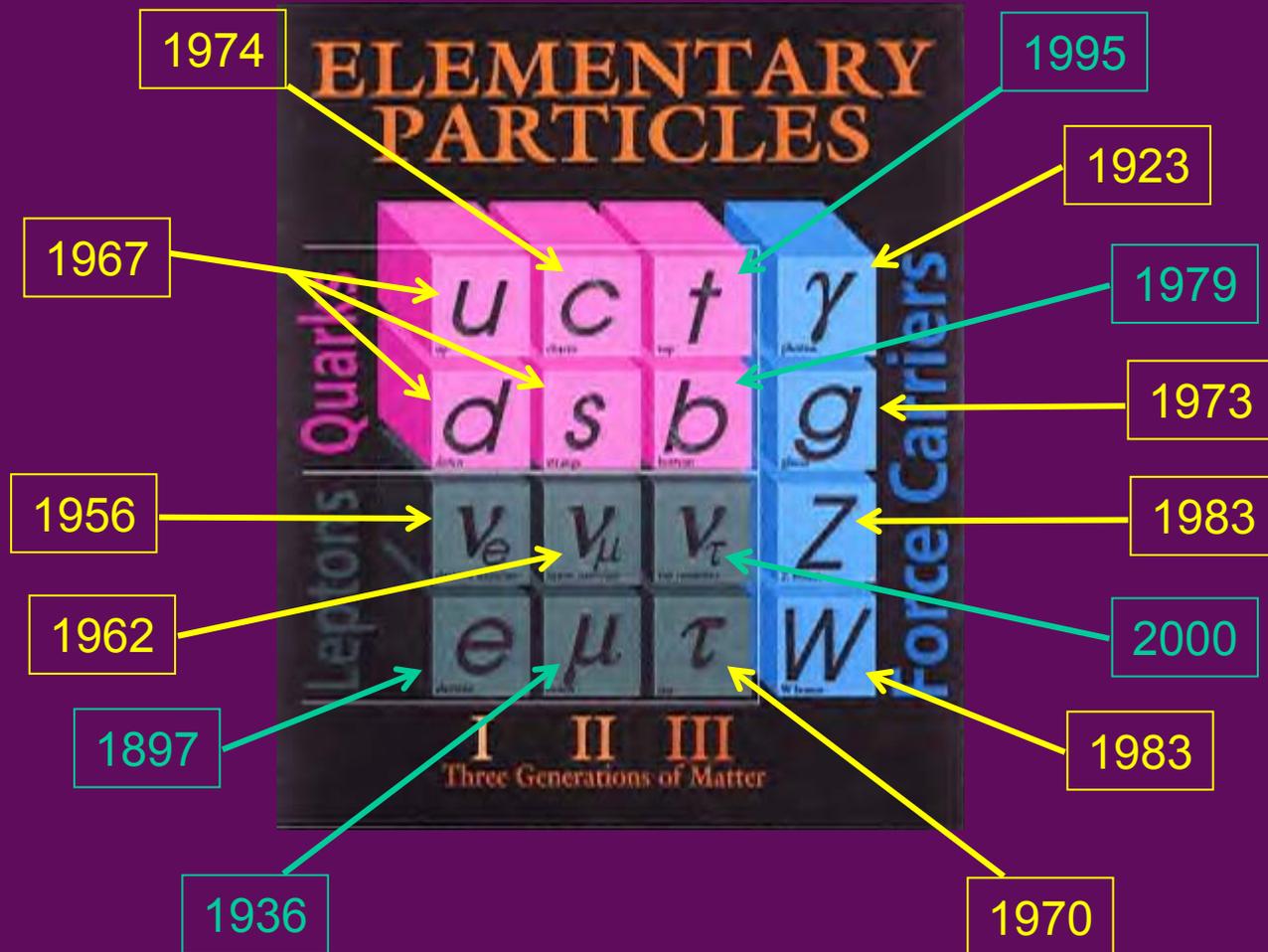
Durante el siglo XIX se comprendió la naturaleza de la materia en término de átomos ...

Tabla Periódica de Mendeleev (1870)

H ¹																	He ²
Li ³	Be ⁴											B ⁵	C ⁶	N ⁷	O ⁸	F ⁹	Ne ¹⁰
Na ¹¹	Mg ¹²											Al ¹³	Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶	Cl ¹⁷	Ar ¹⁸
K ¹⁹	Ca ²⁰	Sc ²¹	Ti ²²	V ²³	Cr ²⁴	Mn ²⁵	Fe ²⁶	Co ²⁷	Ni ²⁸	Cu ²⁹	Zn ³⁰	Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵	Kr ³⁶
Rb ³⁷	Sr ³⁸	Y ³⁹	Zr ⁴⁰	Nb ⁴¹	Mo ⁴²	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴	Rh ⁴⁵	Pd ⁴⁶	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸	In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³	Xe ⁵⁴
Cs ⁵⁵	Ba ⁵⁶	La ⁵⁷	Hf ⁷²	Ta ⁷³	W ⁷⁴	Re ⁷⁵	Os ⁷⁶	Ir ⁷⁷	Pt ⁷⁸	Au ⁷⁹	Hg ⁸⁰	Tl ⁸¹	Pb ⁸²	Bi ⁸³	Po ⁸⁴	At ⁸⁵	Rn ⁸⁶
Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹	Rf ¹⁰⁴	Db ¹⁰⁵	Sg ¹⁰⁶	Bh ¹⁰⁷	Hs ¹⁰⁸	Mt ¹⁰⁹	Uun ¹¹⁰								

Ce ⁵⁸	Pr ⁵⁹	Nd ⁶⁰	Pm ⁶¹	Sm ⁶²	Eu ⁶³	Gd ⁶⁴	Tb ⁶⁵	Dy ⁶⁶	Ho ⁶⁷	Er ⁶⁸	Tm ⁶⁹	Yb ⁷⁰	Lu ⁷¹
Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹²	Np ⁹³	Pu ⁹⁴	Am ⁹⁵	Cm ⁹⁶	Bk ⁹⁷	Cf ⁹⁸	Es ⁹⁹	Fm ¹⁰⁰	Md ¹⁰¹	No ¹⁰²	Lr ¹⁰³

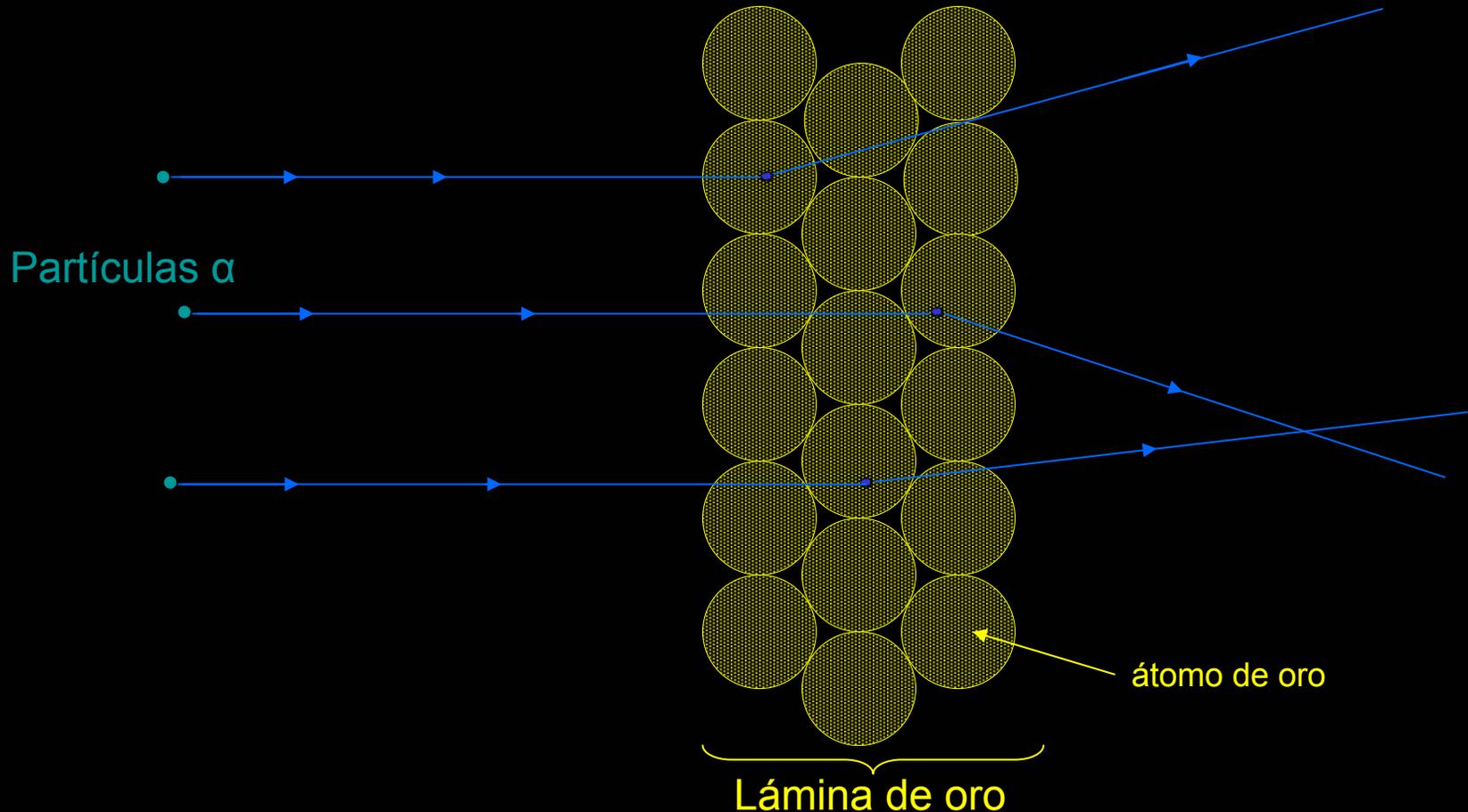
... durante el siglo XX se llegó a la Tabla Periódica Partículas Elementales de hoy en día



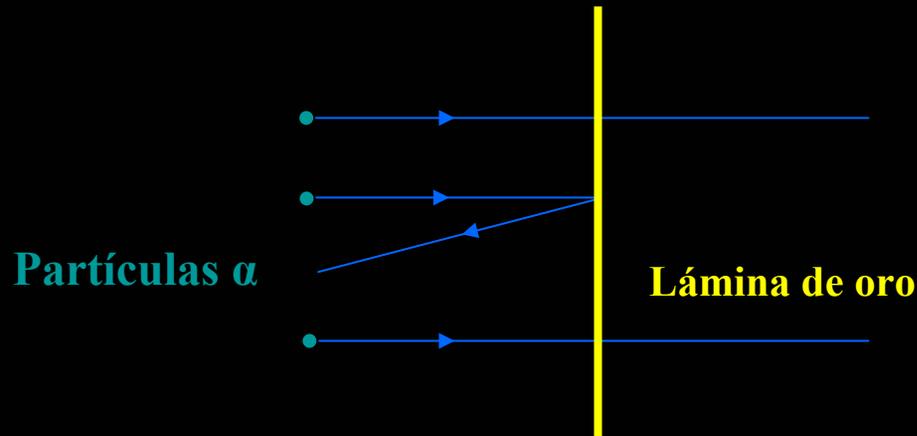
¿Cómo se puede ver que hay dentro del átomo?

→ Arrojándole objetos más pequeños

→ Si los átomos fueran macizos, se esperaría que todas las partículas α se desvíen un poco



Rutherford realizó este experimento en 1911



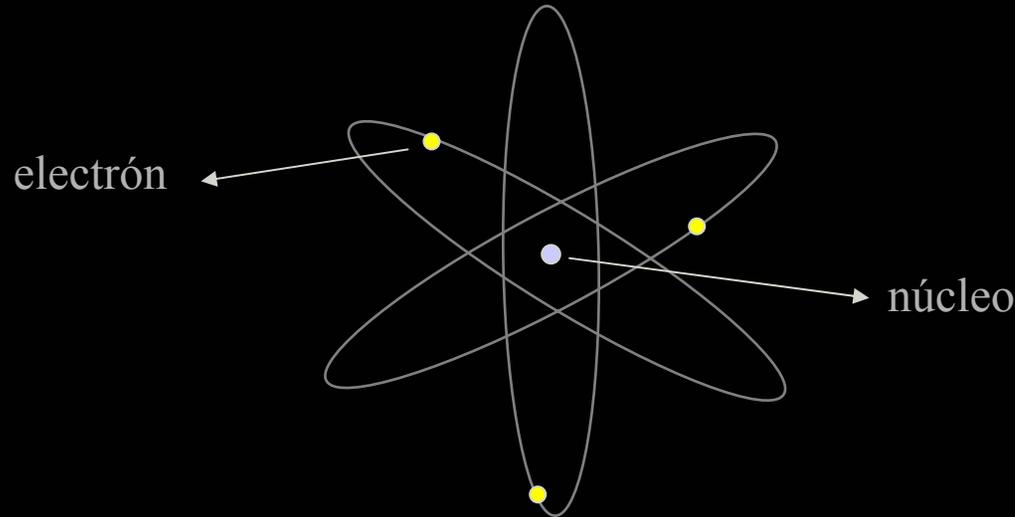
Encontró que la mayoría de las partículas pasaban derecho

→ **Quiere decir que los átomos son casi todo vacío !!**

Una de cada 20.000 partículas rebotaba para atrás !

→ **Toda la masa está concentrada en un núcleo que es 10.000 veces más pequeño que el átomo**

Así concluyó que el átomo de oro está compuesto por un núcleo muy pequeño (carga +79) con 79 electrones (carga -1) girando alrededor



Núcleo: compuesto por protones (carga +1) y neutrones (carga 0)

Por ejemplo, el núcleo de Au contiene 79 p y 118 n

Con sólo 3 partículas (e, p, n) se explicó la estructura de los átomos y la constitución de toda la materia

Hoy en día sabemos que el protón y el neutrón están compuestos por quarks ...

¿Cómo se pueden ver los quarks dentro del protón?

1911: Mirar dentro del átomo arrojándole objetos más pequeños

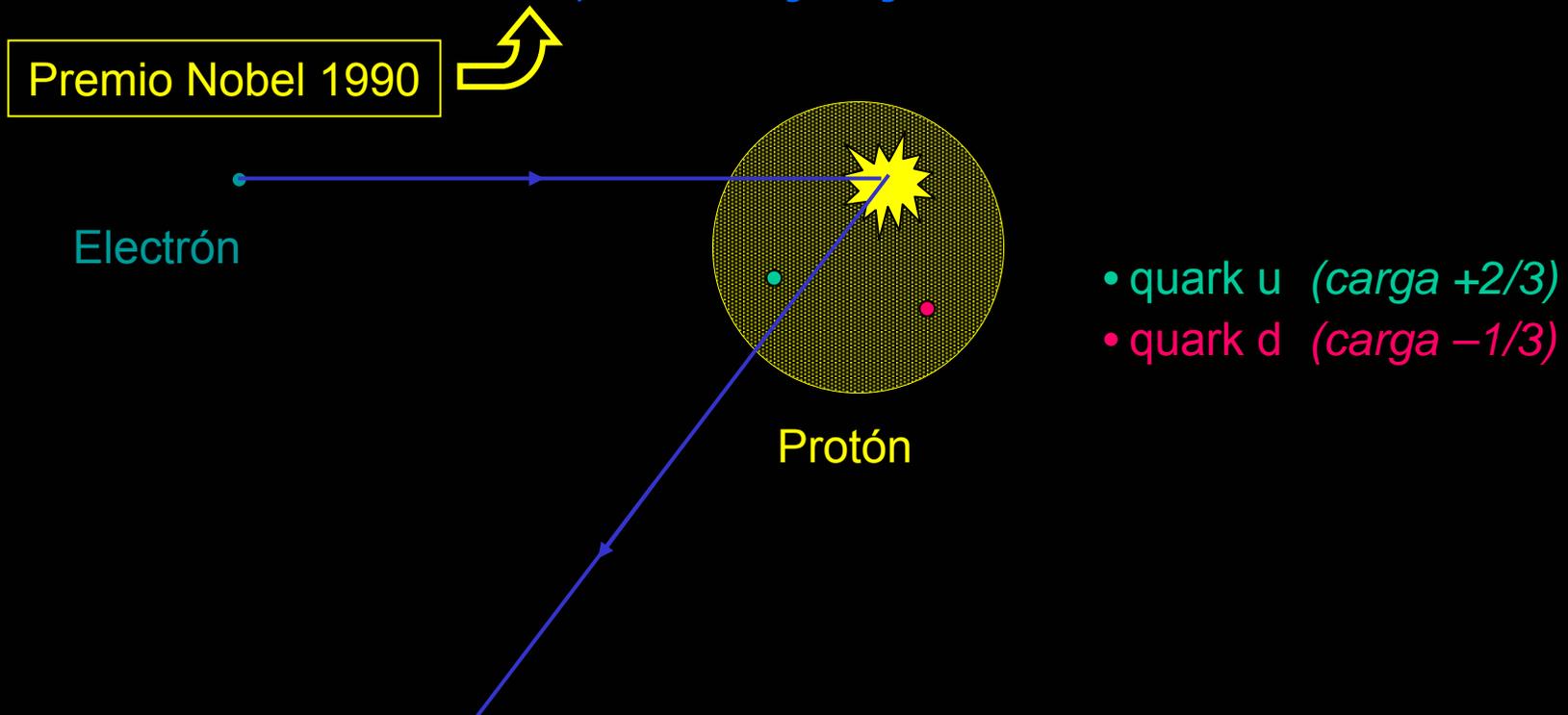
Rutherford

partículas alfa

1969: Mirar dentro del protón arrojándole objetos más pequeños

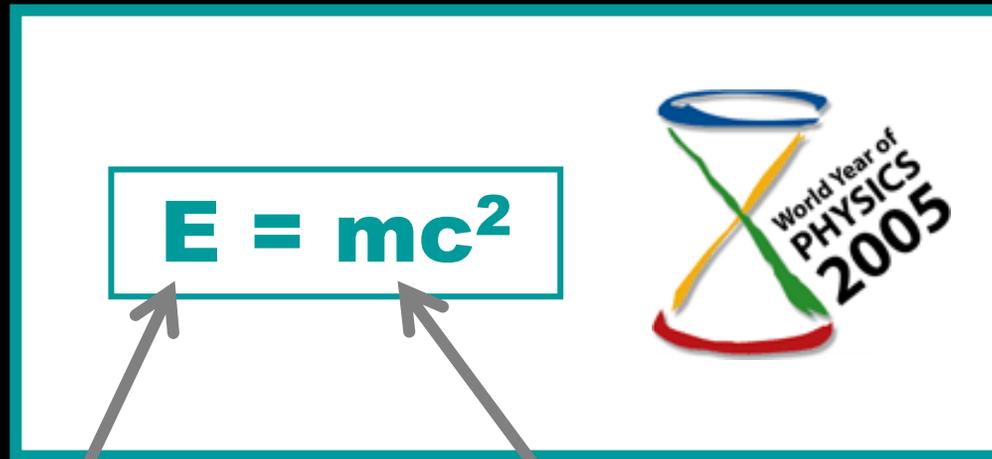
Friedman, Kendall y Taylor

electrones



¿Cómo se llegó del protón y neutrón a los quarks?

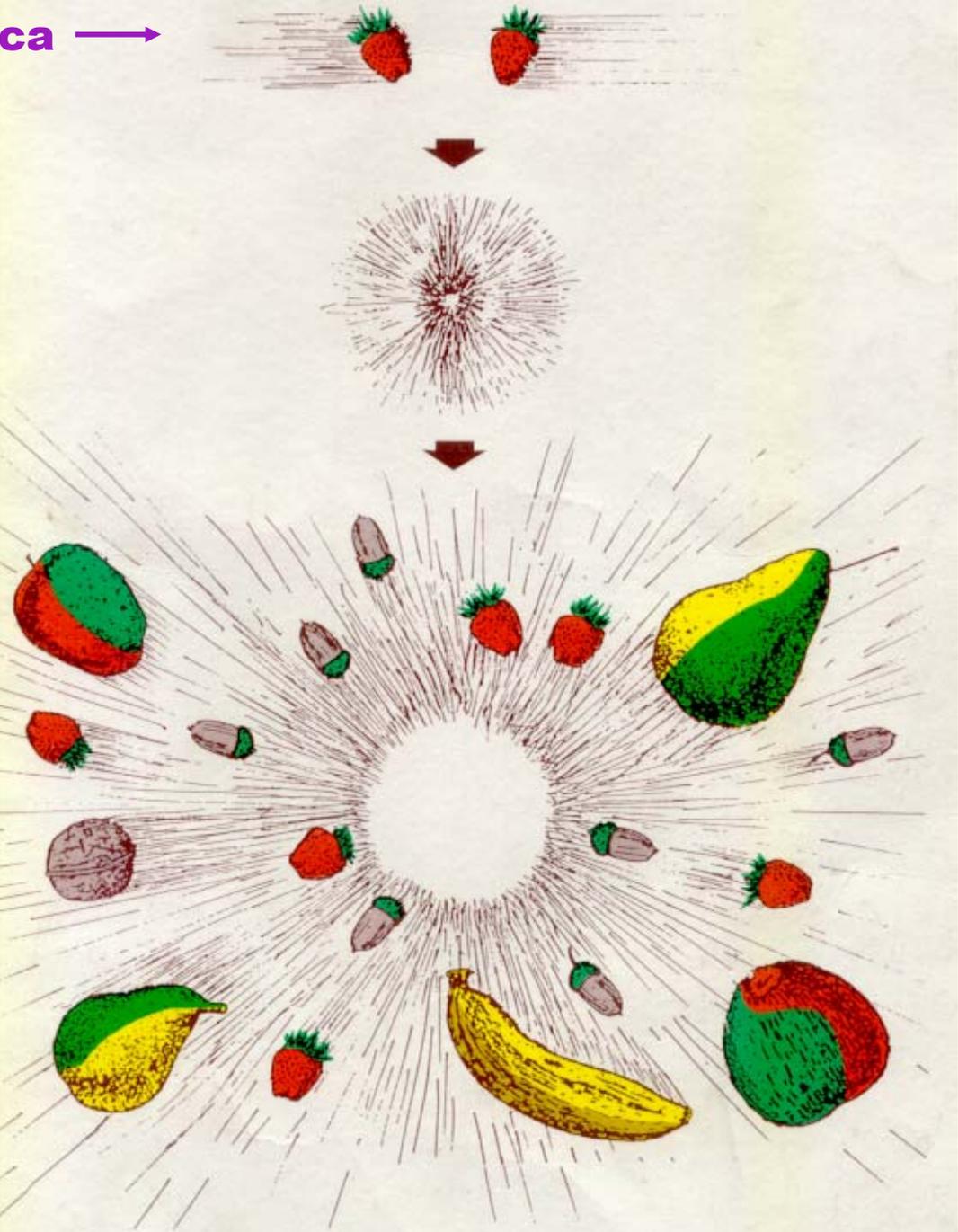
A través de la ecuación más famosa de la física, que este año cumple 100 años



Con energía E

se puede fabricar partículas de masa m

Energía cinética →



→ Masa



Premio Nobel 1933

(Dirac, 1930) A cada partícula le corresponde una antipartícula

electrón \rightarrow e

antielectrón \rightarrow \bar{e}

¿Qué es una antipartícula?

- \rightarrow El e y el \bar{e} tienen carga opuesta.
- \rightarrow Al juntar un e y un \bar{e} , se aniquilan.
- \rightarrow Es posible crear un e y un \bar{e} simultáneamente.



¿Cómo se hace para crearlas ?

En 1932, Anderson encontró el antielectrón: \bar{e}



Premio Nobel 1936

$$E = mc^2$$

$$m_e = 9 \times 10^{-28} \text{ g} = \underbrace{0.000\text{.....}000009}_{28 \text{ ceros}} \text{ g} \quad c = 300.000 \text{ km/seg}$$

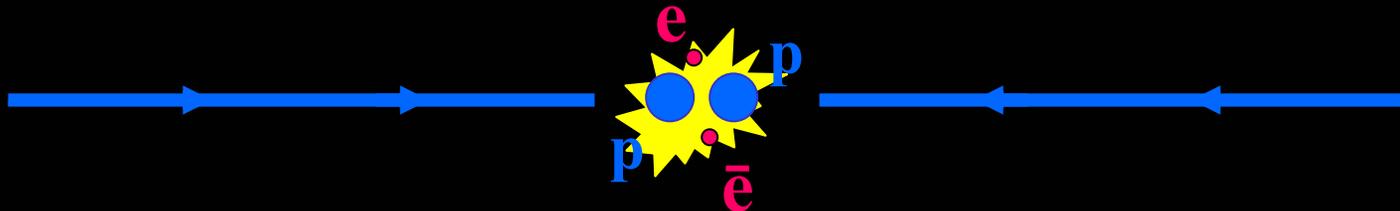
¿Cuánta energía se necesita para crear un electrón?

$$\longrightarrow E = m_e c^2 = 8 \times 10^{-7} \text{ g km}^2/\text{seg}^2 = 8 \times 10^{-10} \text{ J} = 0.5 \text{ Mev}$$

¿Cuánta energía es 0.5 Mev?

→ Un protón que viaja a 3.000 km/seg tiene 0.5 Mev

Al chocar dos protones a 3000 km/seg se puede producir un par $e^- e^+$



Pero si con dos protones a 3000 km/s (0.5 Mev) podemos crear un e y un \bar{e} , con protones a energías más altas podemos fabricar partículas más pesadas

**La masa del protón es 2000 veces mayor que la del electrón:
con 2000 veces más energía se crea un par de protón y antiprotón**

1955: Descubrimiento del antiprotón (Segré y Chamberlain)

Premio Nobel 1959



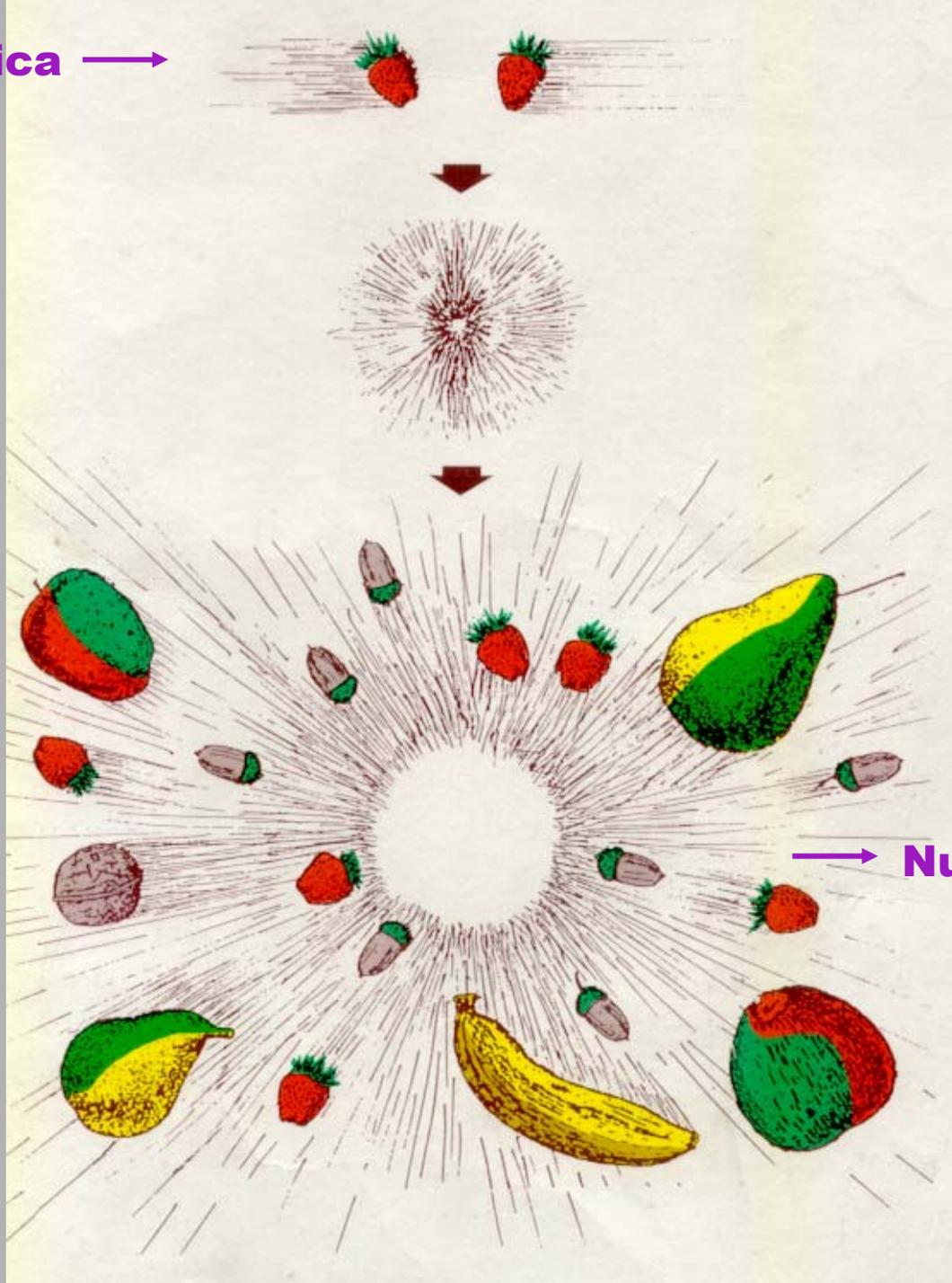
Pero también pueden producirse partículas nuevas, desconocidas hasta entonces

1947: Descubrimiento del pión y antipión (Powell)

Premio Nobel 1950



Energía cinética →



→ **Nuevas partículas**

**Entre 1950 y 1960 se encontraron cientos de partículas nuevas,
de la familia del protón y el neutrón**

Claramente, no podía ser que haya tantas partículas “elementales”

**En 1960, Gell-Mann y Neeman lograron ordenar las partículas según sus
propiedades, como 100 años antes había hecho Mendeleev con los átomos ...**

Tabla de Mendeleev (1870)

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo		44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac															

Le faltaba un elemento !

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U											

Predicción de un nuevo elemento: el Tecnecio

⇒ El Tecnecio no se encuentra en la tierra porque vive sólo 2.500.000 años

**Entre 1950 y 1960 se encontraron cientos de partículas nuevas,
de la familia del protón y el neutrón**

Claramente, no podía ser que haya tantas partículas “elementales”

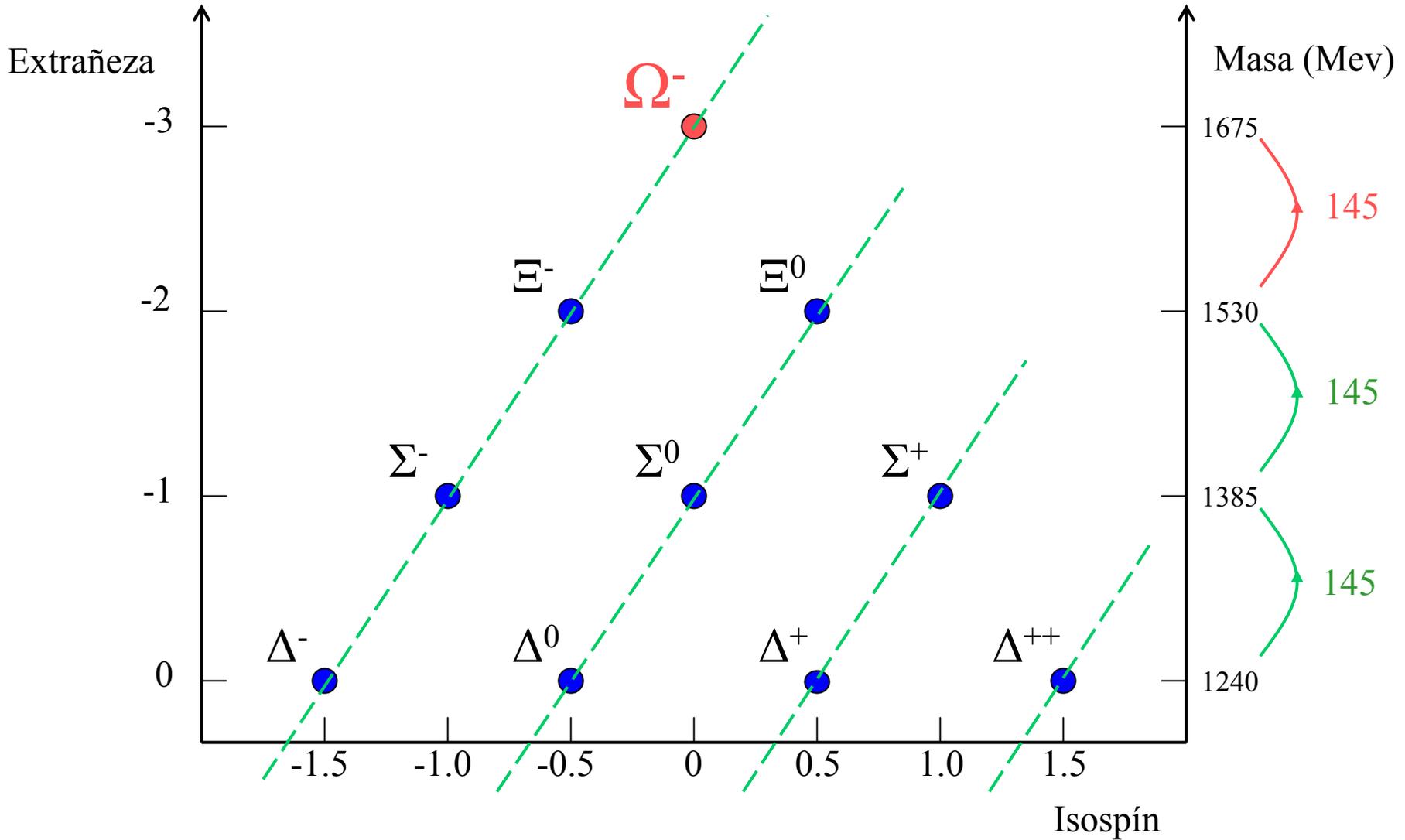
**En 1960, Gell-Mann y Neeman lograron ordenar las partículas según sus
propiedades, como 100 años antes había hecho Mendeleev con los átomos ...**

**... y al igual que Mendeleev, lograron predecir la existencia
de partículas no conocidas hasta entonces.**

Gell-Mann: predicción de la partícula Ω^- (1961)



Premio Nobel 1969



Partículas con espín $3/2$ y número bariónico $B=1$

Gell-Mann logró explicar la constitución de todas estas partículas, parientes del protón y neutrón, en términos de sólo TRES quarks

Nombre	Carga
u	$+ \frac{2}{3}$
d	$- \frac{1}{3}$
s	$- \frac{1}{3}$

Así por ejemplo:

protón (uud)

neutrón (udd)

Carga:

$$+ \frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = \mathbf{1}$$

$$+ \frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = \mathbf{0}$$

Recuerden, los átomos se habían explicado como compuestos de electrones, protones y neutrones

Ahora, además del electrón, tenemos tres quarks, no está tan mal, pero ...



Premio Nobel 1976

En 1974, dos experimentos, Richter y Ting, encontraron una partícula denominada J/ψ , que no podía ser descrita por los quarks u, d y s

Para fabricarla se necesitan 3000 Mev de energía

→ Primera partícula que contiene un cuarto quark, llamado “c”

En 1979, historia parecida, descubrimiento de la partícula ‘Y’, a 9.000 Mev de energía, conteniendo un quinto quark, el “b”

Hacia 1979 ya se conocían entonces cinco quarks ...

Carga
↓

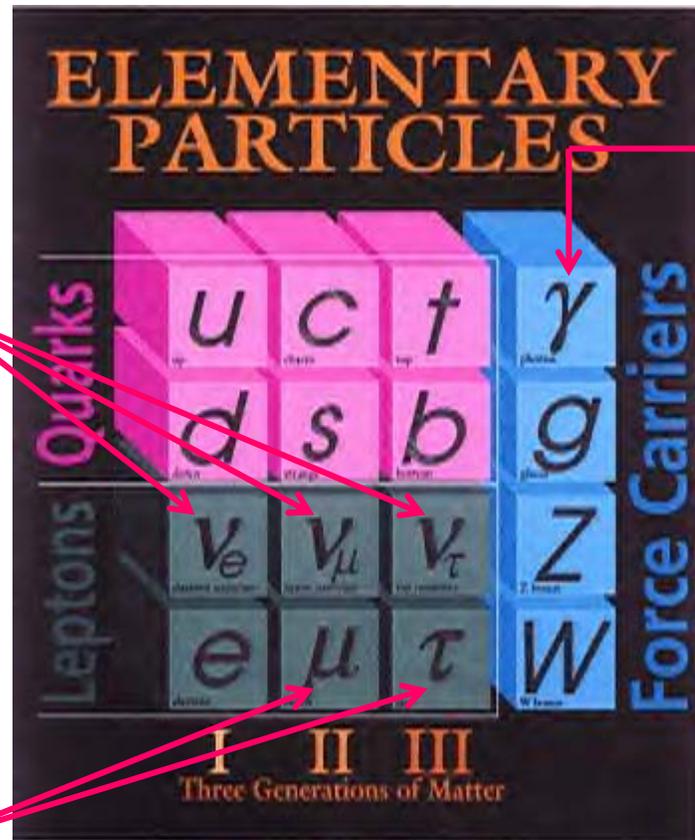
$+ \frac{2}{3}$	u	c	t
$- \frac{1}{3}$	d	s	b

←←← ¿qué raro este hueco, no?

1995: se encuentra el quark “top” en el acelerador Fermilab, EEUU, haciendo chocar protones y antiprotones a 2.000.000 Mev de energía



Partículas Elementales conocidas hasta 2001



Tres neutrinos

Responsables de las Fuerzas

Dos parientes más pesados del electrón

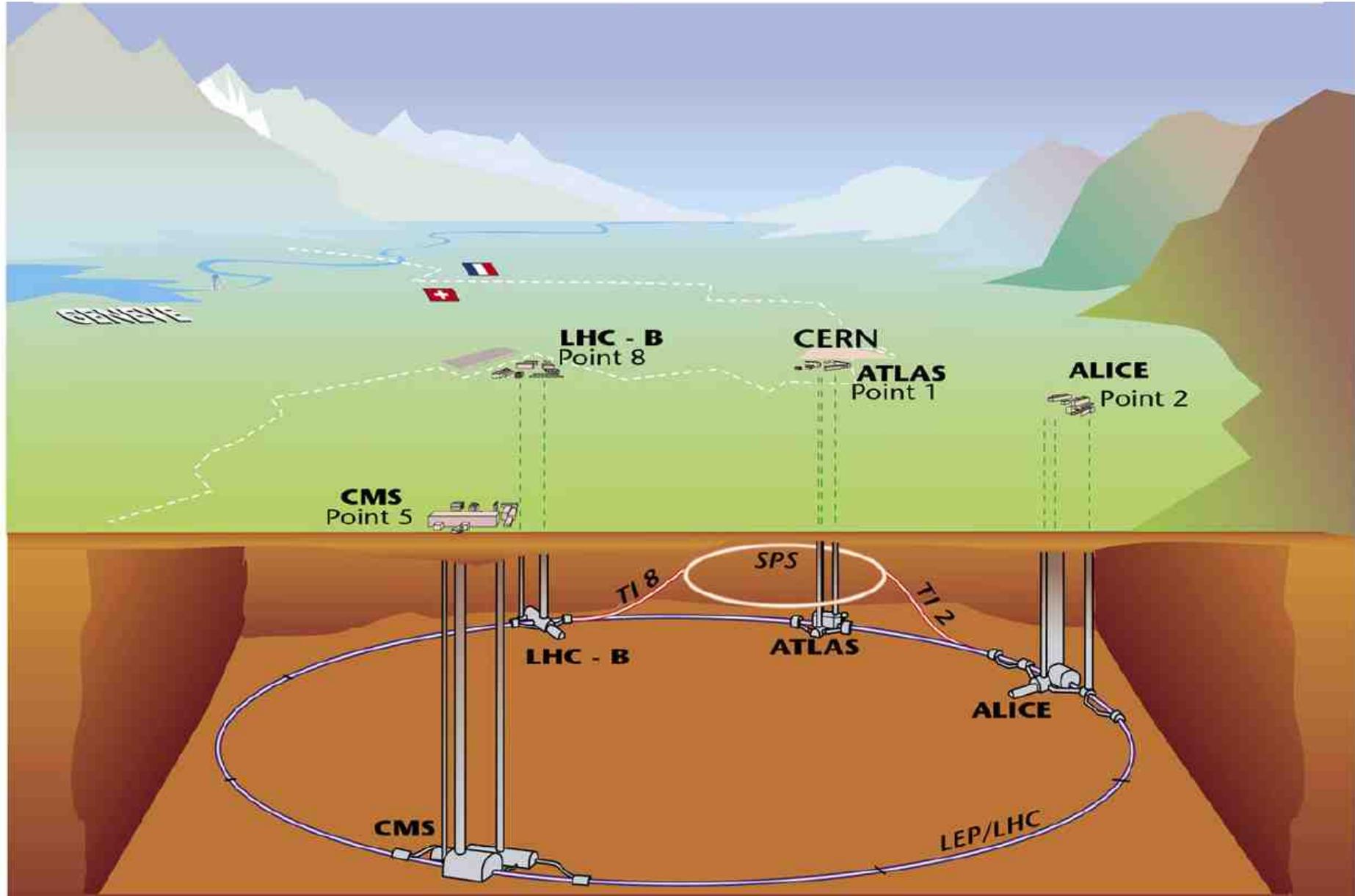
Si estas partículas tienen estructura interna, su tamaño es menor que 10^{-18}m !

Para saber más, necesitamos aceleradores de mayor energía

**En este momento se está construyendo en el CERN, Ginebra,
un colisionador de protones a 12.000.000 Mev**

Tiene 27 km de circunferencia

El acelerador del Cern en Ginebra (Suiza-Francia)



El propósito de los nuevos aceleradores es

- » **Descubrir nuevas partículas**
- » **Investigar si los quarks tiene estructura interna**
- » **Estudiar las Fuerzas entre las Partículas Elementales**

Tienen que tener mayor energía para

- 1. Producir partículas desconocidas de mayor masa, $E=mc^2$ ($m=E/c^2$)**
- 2. Penetrar dentro de las partículas para ver su estructura interna**

El nuevo acelerador del CERN empezará a funcionar en 2006

y ya se están planeando nuevos ...

Fin ?