

De Demócrito al CERN

Nombre y apellidos: _____ Curso y grupo: _____



El CERN es uno de los centros de investigación en física más importante del mundo. En sus instalaciones se han descubierto misterios del universo, como el motivo por el que partículas como los electrones tienen masa, y se ha fabricado antihidrógeno, siendo el único lugar de todo el universo conocido en el que existe

antimateria, entre otros grandes hitos en física. El CERN es tan grande que parte se encuentra en Francia y parte en Suiza. Además, dispone de un callejero propio que alude a grandes pensadores y científicos de la historia que compartieron un mismo objetivo: descubrir los secretos del universo. En esta actividad vamos a introducirnos en la física moderna a través del CERN y algunos de sus experimentos e instalaciones.

Actividades

1. Como sabes, el átomo se compone de protones, neutrones y electrones. Los electrones son partículas sin estructura interna (no están formados por otras partículas más sencillas), motivo por el cual decimos que son partículas fundamentales. Sin embargo, los protones y neutrones no son partículas fundamentales, ya que están formados por otras partículas más sencillas denominadas quarks. El protón está formado por dos quarks *up* y un quark *down*. El neutrón está formado por dos quarks *down* y un quark *up*. Sabiendo que la carga del quark *up* es $+2/3$ y que la carga del quark *down* es $-1/3$, determina la carga del protón y del neutrón.

2. Coloca cada estructura en el hueco de la tabla que le corresponda por su tamaño:

Electrones y quarks Átomo Nucleones Núcleo atómico

Estructura				
Tamaño (cm)	10^{-8}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-16}

¿Las estructuras están ordenadas de mayor a menor tamaño o al revés?

Tras completar la tabla, determina la proporción de tamaño entre:

- a) Un átomo y su núcleo.
- b) Un átomo y un quark.
- c) Un protón y un electrón.
- d) Un núcleo y un electrón.

3. En el CERN es posible encontrar una calle que recuerda al filósofo griego Demócrito, quien propuso que la materia estaba formada por partículas indivisibles, lo que en griego se llamó “átomos”. Tras realizar las actividades anteriores, ¿crees que el significado original del término átomo es correcto? Propón una definición de átomo que tenga en cuenta el conocimiento actual sobre estructura de la materia.



4. Además de los quarks *up*, los quarks *down* y los electrones, existen más partículas fundamentales, las cuales se clasifican según el denominado Modelo Estándar en tres grandes grupos, tal y como puedes observar en la figura: quarks, leptones y bosones. Observa la figura y responde a las siguientes cuestiones:

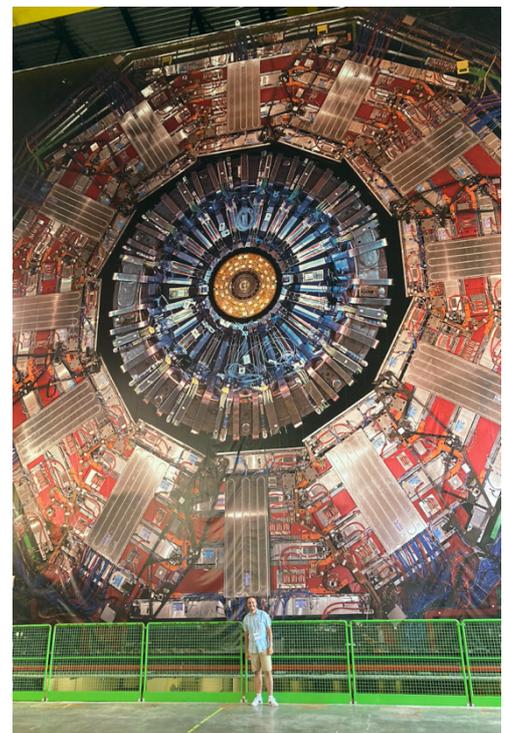


- De los tres tipos de partículas del Modelo Estándar, ¿cuáles forman la materia ordinaria?
- Los quarks que forman los protones y los neutrones se mantienen unidos gracias a los gluones. ¿Qué tipo de fuerza se asocia, por tanto, a los gluones?
- Un protón está formado por dos quarks *up* y un quark *down*. Sin embargo, si sumamos la masa de estos tres quarks se obtiene un valor inferior a la masa del protón. ¿Qué partícula permite explicar “la masa que falta”?
- ¿Qué partícula está relacionada con el mecanismo por el cual el electrón tiene masa?
- ¿Qué partícula forma parte de la luz?
- Busca información e indica la partícula o partículas que correspondan en cada caso:
 - Son las partículas vinculadas a la fuerza nuclear débil.
 - Son las partículas vinculadas a la fuerza electromagnética.
 - Es el único leptón que tiene masa suficiente como para desintegrarse.
 - Nos bombardean constantemente pero no se pueden detectar de forma directa.
 - Se forman cuando los rayos cósmicos del espacio impactan con la atmósfera terrestre.
 - Son quarks que no forman parte de los nucleones.

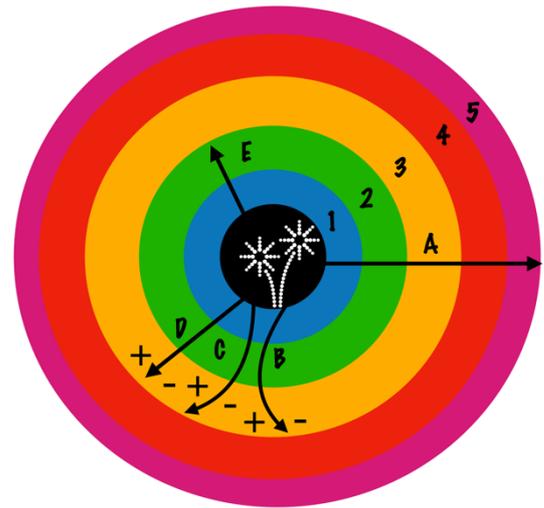
5. En clase hemos visto uno de los experimentos más importantes de la historia de la ciencia: el experimento de la lámina de oro de Rutherford y sus colaboradores, el cual fue clave en el descubrimiento del núcleo atómico. En dicho experimento se bombardeaban partículas alfa (núcleos de He) sobre una delgada lámina de oro. Los científicos observaron que la mayoría de partículas atravesaban la lámina, pero algunas se desviaban ligeramente y alguna llegaba incluso a rebotar. Esa idea de “lanzar partículas” contra un blanco para estudiar la estructura de la materia también la encontramos en muchos de los experimentos del CERN. Por ejemplo, en el LHC (*Large Hadron Collider*) se aceleran haces de protones para que al colisionar se transformen en otras partículas que se intentan detectar.

a) ¿Qué detector se utilizó en el célebre experimento de la lámina de oro? Explica su brevemente su fundamento científico y cómo ayudó a obtener información sobre el átomo.

b) Los colisionadores del CERN son dispositivos herméticos donde se recogen y estudian los productos que se forman en las colisiones de las partículas procedentes de los aceleradores. Los colisionadores están formados por varias capas que ayudan a identificar las partículas formadas en las colisiones. Uno de los más importantes es el CMS (*Compact Muon Solenoid*), que como puedes observar en la imagen, ¡es enorme! Los resultados de las colisiones son recogidos y analizados usando avanzados sistemas informáticos (¡no olvides que Internet nació en el CERN!). Entre esta información se incluye la trayectoria, la relación masa/carga, el momento lineal, etc.



Como puedes apreciar en la figura, el CMS está formado por 5 detectores diferentes que se pueden considerar capas concéntricas: un detector de silicio (capa 1), un calorímetro electromagnético (capa 2), un calorímetro hadrónico (capa 3), un solenoide superconductor (capa 4) y las cámaras de muones (capa 5). La siguiente tabla recoge sus principales características:



Capa	Capa 1	Capa 2	Capa 3	Capa 4	Capa 5
Detector	Detector de silicio	Calorímetro electromagnético	Calorímetro hadrónico	Solenoide superconductor	Cámara de muones
Función	Cuando una partícula cargada entra en este detector, los átomos de silicio (Si) se ionizan, formándose cargas negativas y positivas.	Está formado por cristales de tungstato de plomo ($PbWO_4$) que al interactuar con las partículas que llegan produce una especie de destellos de luz. Permite detectar los componentes fundamentales de la corriente eléctrica y de la luz.	Está formado principalmente por metales y cuarzo. Permite detectar partículas formadas por quarks.	Está fabricado con niobio (Nb) y titanio (Ti) y actúa como un imán. Sirve para determinar la relación carga/masa de las partículas. Para que funcione, se debe trabajar a $-269\text{ }^\circ\text{C}$. Produce un campo magnético 10^5 veces mayor que el campo magnético terrestre.	Los muones interactúan muy poco con la materia. En estas cámaras producen la ionización de un gas, entre otras formas de detección.

Imagina que dentro del CMS se ha producido una colisión de partículas que ha dado lugar a las señales A, B, C, D y E que aparecen en la figura. Con la información de la tabla anterior, indica, justificando tu respuesta, qué señal corresponde a cada una de las siguientes partículas: un protón, un neutrón, un electrón, un fotón y un muon.

6. En el CERN es fundamental controlar la energía de los haces de protones que colisionan. Cada protón tiene una energía de $1,1 \mu\text{J}$. Responde, usando factores de conversión y notación científica cuando proceda:

a) Sabiendo que los haces que se emplean contienen 310.000 billones de protones, calcula la energía del haz.

b) Sabiendo que energía y materia están relacionadas por la ecuación $E=m \cdot c^2$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío, calcula la masa en gramos y en nanogramos del haz de protones.

c) A cuántos *Big Mac* equivale la energía de un haz de protones de los empleados en el CERN, sabiendo que el aporte energético de dicha hamburguesa es de unas 500 kcal.

Datos: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$.

7. Tras visionar el vídeo «¿Por qué el LHC no puede destruir el mundo?» del canal de divulgación científica *Quantum Fracture*, disponible en https://www.youtube.com/watch?v=nf3_4YZfDLk, responde a las siguientes cuestiones, justificando tu respuesta:

a) ¿Son las colisiones de protones en el LHC un proceso de ruptura en otras partículas?

b) ¿Cómo podemos definir mejor la colisión entre partículas que tiene lugar en el LHC?

c) ¿Qué son los rayos cósmicos?

d) ¿Dónde ocurren las colisiones entre protones más energéticas en nuestro planeta?

e) ¿Por qué en lugar de usar los rayos cósmicos se aceleran protones en el LHC?