

Llevando el magnetismo de ALICE (LHC) a la aulas de Secundaria



Xabier Cid Vidal¹, Ramón Cid Manzano²

¹*Departamento de Física de Partículas, Universidad de Santiago, Campus Universitario Sur 15782 - Santiago de Compostela, España.*

²*Instituto de Enseñanza Secundaria "IES de Sar", R/Bernardo Barreiro de Vázquez Varela s/n, 15702 - Santiago de Compostela, España.*

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Santiago, Campus Universitario Norte 15782 Santiago de Compostela

E-mail: ramon.cid@usc.es, xcidvidal@gmail.com

(Recibido el 25 de Julio de 2011; aceptado el 22 de Septiembre de 2011)

Resumen

El colisionador de partículas LHC (CERN - Laboratorio Europeo para la Investigación Nuclear) continua su progresivo aumento de potencia y ha alcanzado a mediados del año 2011 sus objetivos de funcionamiento para este año en sus dos detectores más grandes: CMS y ATLAS. A final de año se espera lograr lo mismo para los otros dos detectores: LHCb y ALICE. Como es conocido, este extraordinario experimento quiere dar respuesta a algunas de las preguntas que la ciencia se viene haciendo desde hace décadas: por qué hay más materia que antimateria, de que está hecho el 96% del Universo, si el campo de Higgs es el responsable de la masa de todas las partículas, como fueron los primeros instantes después del Big Bang. Dada las especiales características de este experimento, resulta muy atractiva su utilización para estudiar cuestiones generales de Física en la enseñanza secundaria. En este artículo presentamos uno de los cuatro grandes detectores – ALICE – con el propósito de llevar al aula algunos cálculos sobre Magnetismo, haciendo uso de la motivación extra que este experimento y este específico detector nos proporciona para el aprendizaje.

Palabras clave: Enseñanza de conceptos en Física, Física de Partículas en Secundaria.

Abstract

LHC-Large Hadron Collider (CERN - European Organization for Nuclear Research) continues increasing its beam intensity, achieving its target for 2011 a little before the middle of the year in the general-purpose detectors, ATLAS and CMS. At the same time, LHCb and ALICE are well on the way to achieve their respective goals by the end of this year. As it is well known, this impressive experiment try to answer some of the most important questions in Physics: What is the origin of mass? What is 96% of the universe made of? Why is there no more antimatter? What was matter like within the first second of the Universe's life? The aim of this paper is to introduce a few simple physical calculations about some magnetic phenomena that took place in detector ALICE, by using the extra motivation learn that this experiment and specific detector can offer in secondary classroom.

Keywords: Physics Teaching, Particle Physics in Secondary School. Magnetism.

PACS: 01.40.-d, 01.40.E-, 10.00.00, 29.20.db

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

El colisionador de partículas LHC (CERN) situado en Ginebra (Suiza) sigue exitosamente sus trabajos de investigación y, aunque no será hasta después de 2012 cuando alcance su máxima potencia, ya ha proporcionado una impresionante cantidad de datos que están mejorando y confirmando muchos de los modelos que los físicos de partículas utilizan.

En esta misma revista hemos ya tenido ocasión de hacer accesible este fabuloso experimento a través de unos pocos cálculos, Cid y Cid [1], y hemos también mostrado como utilizar este experimento para tratar en el aula diferentes

contenidos de la Física que es objeto de aprendizaje en la enseñanza secundaria, Cid y Cid [2, 3]. En particular mostramos, Cid [4], como llevar conceptos relativos al magnetismo usando los dipolos del LHC y los complejos sistemas magnéticos de ATLAS y CMS.

Como ya se ha indicado, se trata de contextualizar lo más posible el acercamiento de nuestros alumnos y alumnas a esas cuestiones de Física, haciendo así el proceso más motivador y por tanto más útil en términos de aprendizaje.

Suponemos que los lectores ya conocen suficientemente en qué consiste el LHC, pero en todo caso en la bibliografía que se cita al final, Evans [5] y CERN [6], se puede encontrar información básica sobre el experimento. No

obstante, a lo largo de este artículo serán indicados aquellos aspectos que se consideren imprescindibles para el seguimiento del mismo.

Es importante tomar en consideración que la propuesta que se aquí se realiza es solamente una aproximación con propósito didáctico, y por tanto no se corresponde totalmente con la complejidad y rigor de la Física que está detrás de un experimento de esta envergadura.

II. SISTEMAS MAGNÉTICOS EN EL LHC

Uno de las herramientas fundamentales de un acelerador de partículas es su sistema de dispositivos magnéticos. En el LHC, que es un acelerador circular, es necesario guiar a las partículas aceleradas (protones, habitualmente) para que mantengan su trayectoria a lo largo de todo el perímetro del acelerador. El poderoso sistema magnético dipolar (los conocidos dispositivos azules que vemos en el túnel del acelerador, ver Fig. 1) formado por 1232 elementos situados en los sectores curvos del LHC utilizar la fuerza de Lorentz para tal fin.



FIGURA 1. El túnel del LHC con algunos de los elementos magnéticos dipolares.

Otra de las tareas esenciales que deben acometer otros dispositivos magnéticos (los cuadrupolos) consiste en mantener a los protones lo más agrupados que sea posible en los paquetes que conforman. Esto no es fácil, pues como es fácil entender los protones se repelen entre si debido a su carga eléctrica positiva. Pero de este empaquetamiento va a depender que el número de colisiones que se produzcan en los cuatro puntos de cruce, situados en el anillo del LHC, sea el más alto posible.

Otros sistemas magnéticos preparan a los paquetes para entrar en las zonas de colisión con la dirección adecuada; otros son los responsables de la inyección de esos paquetes en el acelerador desde otros aceleradores previos, y, naturalmente, se necesitan otros elementos capaces de desviar el haz al final de su tiempo útil para extraerlo del acelerador.

Además hay que tener en cuenta otros efectos menores, incluidos los gravitatorios, que también deben ser

corregidos a través de otros campos multipolares: sextupolos, deca polos, etc. En total hay más de 9000 imanes en el LHC que trabajan para mantener el haz de protones durante unas 10 horas por sesión en las condiciones apropiadas para lograr el mayor número de colisiones posibles.

Pero donde la nueva Física va a ser descubierta es en los detectores. En ellos, la Fuerza de Lorentz es la responsable de curvar la trayectoria de las nuevas partículas creadas después de la colisión. Dependiendo de la carga eléctrica, masa y energía, las partículas emergentes serán separadas por la fuerza magnética de formas diferentes, pudiendo así ser analizadas separadamente.

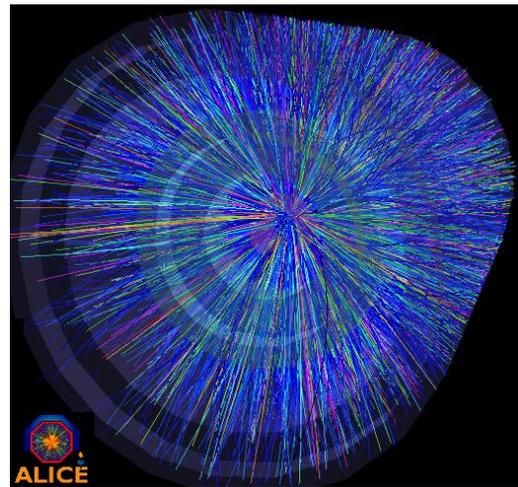


FIGURA 2. Recreación del resultado de colisiones reales en ALICE.

Cada uno de los cuatro detectores tiene su propio diseño para generar ese campo magnético, siendo CMS y ATLAS verdaderamente espectaculares por su tamaño y porque trabajan con corrientes superconductoras. Nosotros nos centraremos aquí en el campo creado en el detector ALICE. En la Fig. 2 se puede ver como las partículas que se crean después de las colisiones son separadas gracias al campo magnético creado por el solenoide de este detector.

III. EL DETECTOR ALICE

Con los datos de que se disponen actualmente, situamos el nacimiento de nuestro Universo hace 13700 millones de años con una “gran explosión” (Big Bang), a partir de la cual el Universo se expandió y se generaron todos los elementos que lo componen actualmente. Pero, ¿cómo fueron los primeros momentos?, ¿qué clase de partículas estuvieron presentes en esos instantes?, ¿qué propiedades tenía esa materia primordial?

Para estudiar el estado particular de la materia denominado plasma de quarks y de gluones, que se cree existió justo después de la creación del Universo, ha sido especialmente diseñado el detector ALICE (Fig. 3).

Se trata de una colaboración de más de 1000 físicos, ingenieros y técnicos, de 105 instituciones científicas pertenecientes a 30 países.

El experimento ALICE consiste, en una primera parte, de un sistema central de detectores, barril central, que incluye el ITS (Inner Tracking System) sistema de trayectorias internas para el seguimiento de las primeras partículas generadas desde la colisión; la TPC (Time Projection Chamber) o cámara de proyección temporal, es el sistema principal para el seguimiento de trayectorias; el TRD (Transition Radiation Detector) o detector de radiación de transición diseñado para la identificación de electrones y el TOF (Time Of Flight) o detector de tiempo de vuelo (Time Of Flight) que proporciona la identificación de piones, kaones y protones. El sistema central se completa con otros detectores adicionales para diferentes propósitos. De hecho, en total hay diecisiete tipos de detectores diferentes.

Adyacente a este barril central se encuentra el espectrómetro de muones en el que un enorme dipolo magnético es el encargado de desviar a los muones para permitir la medida de su momento. Una información completa puede ser encontrada en los Technical Design Reports de cada detector [7].



FIGURA 3. Esquema del detector ALICE.

De forma general, cuando hablamos del LHC, pensamos en protones acelerados como protagonistas de las colisiones. En ALICE, son núcleos de Pb los que colisionan en el centro del detector para crear un estado de plasma conocido como “sopa de quarks y gluones”.

Una pequeña cantidad (0.5 gramos) de plomo (Pb-208) de altísima pureza se calienta a 500°C para convertirlo en vapor de átomos que se inyecta al acelerador lineal Linac3, donde después de perder algunos electrones ya son iones de Pb que pueden ser acelerados. Pasarán después a un acelerador específico para ellos llamado LEIR (Low Energy Ion Ring) donde se acumulan y aceleran hasta alcanzar 72MeV por nucleón. Al salir de este dispositivo ya siguen el mismo camino que harían los protones: el sincrotrón PS, donde alcanzan los 5.9GeV por nucleón, y el sincrotrón SPS de donde salen con 177GeV ya como núcleos de Pb, sin electrones. Finalmente, estos núcleos de plomo pasan al

Llevando el magnetismo de ALICE (LHC) a la aulas de Secundaria anillo principal del LHC donde serán acelerados hasta 1.38TeV (1380GeV) por nucleón y serán colisionados en tres de los cuatro puntos de colisión, los que corresponden a los detectores ALICE, ATLAS y CMS.

A pesar de que todavía no se ha llegado a la máxima potencia del LHC, las colisiones entre los iones de plomo ya han creado un plasma de quarks y gluones a energías nunca antes alcanzadas desde la gran explosión.

IV. EL SOLENOIDE DEL DETECTOR ALICE

El sistema magnético central del detector es un solenoide clásico (warm magnet) que no requiere por tanto de enfriamiento criogénico, lo que si es necesario para los imanes de los detectores ATLAS y CMS que usan corrientes superconductoras. Este solenoide formó ya parte del anterior acelerador LEP, constituyendo la parte magnética del detector llamado L3. Hay que aclarar que lo de solenoide clásico es una forma de hablar, dado que se trata de un dispositivo de un tamaño, peso y campo magnético generado excepcionales. De hecho, en 1997 pasó a formar parte del Libro Guinness de los Récords como el más grande de los imanes en ese momento.

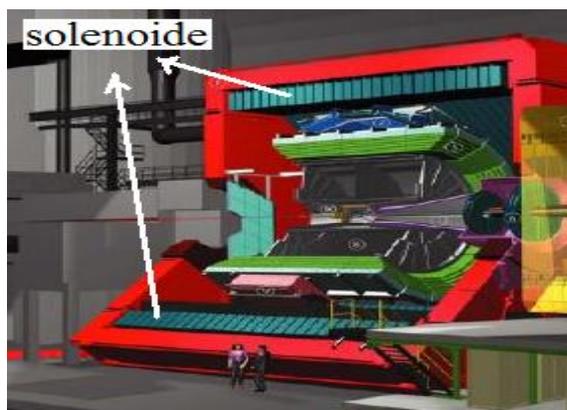


FIGURA 4. El solenoide central de ALICE.

En la Fig. 4 vemos en sección de corte como es el cilindro que constituye el cuerpo del solenoide, que tiene una forma octogonal. Dentro de ese solenoide se alojan los subdetectores (barril central) que hemos mencionado en el apartado anterior.

El objetivo de este dispositivo magnético es separar las partículas cargadas creadas en las colisiones entre iones de Pb para permitir la medida de los momentos lineales de las mismas. Las colisiones se producen justo antes del imán, de forma que las partículas creadas que avanzan hacia el interior del sistema magnético serán separadas dependiendo de sus características.

Este solenoide tiene un radio interior de 5.93m y una longitud total de 11.90m. Está constituido por un cableado plano de aluminio conformado en 28 agrupamientos de seis cables cada uno. Cada paquete supone 40 toneladas de material. El sistema está alimentado por una corriente de

31kA A a 150V dc, siendo refrigerado por agua. Un núcleo de hierro dulce (con un 0,5 % de carbono) que lo rodea y soporta tiene además la misión de guiar el flujo magnético, tanto en los polos como en el interior del sistema. En total estamos hablando de una estructura magnética de 5600 toneladas.

Si tenemos 28 agrupamientos de 6 cables cada uno, se trata en total de un solenoide de:

$$N = 28 \times 6 = 168 \text{ vueltas.}$$

A efectos de simplificar el cálculo tomaremos el solenoide como cilíndrico. En el centro del mismo el valor de B es:

$$B = \mu_0 \cdot N \cdot I / L, \quad (1)$$

$$B = (4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 168 \cdot 31000) / 11.9,$$

$$B \approx 0,55T.$$

El campo magnético de la Tierra tiene un valor de 0,5 gauss, es decir $5 \cdot 10^{-5}T$, y por tanto unas once mil veces más pequeño que el que hay en el interior de ALICE.

Se trata de un campo magnético con dirección axial, en la misma dirección que la de las partículas colisionantes y que por tanto no produce ninguna desviación en ellas. Sin embargo, cuando la colisión genera nuevas partículas que salen en direcciones transversales, la fuerza de Lorentz creada por B actúa produciendo deflexiones que son diferentes según los momentos correspondientes de cada partícula. El conjunto de detectores insertados en el interior del solenoide detectarán esas nuevas partículas deflectadas por B, y así podrán ser registradas para que se pueda interpretar el evento producido.

También podemos calcular otros parámetros importantes asociados al campo magnético de este solenoide. Así, el flujo medio equivalente para cada bobina es:

$$\varphi = N \cdot B \cdot S, \quad (2)$$

$$\varphi = 168 \cdot 0,55 \cdot (\pi \cdot 5.93^2) \Rightarrow \varphi \approx 10200 \text{ Wb.}$$

Por otra parte, el valor de la inductancia L es:

$$\text{con } \varphi = L \cdot I, \quad (3)$$

$$L = 10200 / 31000 \Rightarrow L \approx 0.33 \text{ H.}$$

Finalmente, la energía almacenada en el solenoide es:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2, \quad (4)$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot 0.33 \cdot 31000^2 \Rightarrow E \approx 160 \text{ MJ.}$$

Para tener idea del valor de esta energía, calculemos la energía de un Boeing 747 a plena carga (330 toneladas) moviéndose en pista a unos 110km/h (~31m/s):

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow E = \frac{1}{2} \cdot 330 \cdot 10^3 \cdot 30^2 \Rightarrow E \approx 160 \text{ MJ.}$$

No hace falta hacer muchos más comentarios en relación a esta comparación, pues la sola imagen de ese poderoso avión circulando en pista a más de 100km/h es suficiente para acercarnos a la dimensión de ese valor de la energía.

V. CONCLUSIONES

Finalizamos volviendo al comienzo de este artículo. La idea fundamental es llevar al aula de secundaria cálculos de parámetros físicos, en este caso relacionados con el magnetismo, a través del análisis de un dispositivo real asociado a un evento científico de gran trascendencia. Esta contextualización permite una motivación especial que da lugar a un aprendizaje más rápido y duradero de conceptos que de otra forma se hacen complicados y muy abstractos.

Se ha pretendido evitar deducciones de fórmulas y cálculos matemáticos complicadas a fin de que sean accesibles al nivel de enseñanza secundaria.

Si el lector está interesado en cálculos de igual intención sobre otras magnitudes relacionadas con este experimento, puede encontrarlos en las referencias que se citan y también en Sitio Web "Acercándonos al LHC" [8].

REFERENCIAS

- [1] Cid, R., Cid, X., *LHC en unos pocos números*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **4**, 449-454 (2010).
- [2] Cid, R., Cid, X., *Taking energy to Physics classroom from LHC (CERN)*, Phys. Educ. **44**, 78-83 (2009).
- [3] Cid, R., Cid, X., *LHC: the emptiest space in the solar system*, Phys. Educ. **46**, 45-49 (2011).
- [4] Cid, R., *Contextualized magnetism in secondary school: learning from the LHC (CERN)*, Phys. Educ. **40**, 332-338 (2005).
- [5] Evans, L., *The Large Hadron Collider. A Marvel of Technology*, Lausanne, Switzerland: EPFL Press, 2009.
- [6] LHC The Guide - CERN FAQ Communication Group, January 2008 CERN -Brochure 2008-001-Eng. (2008).
- [7] ALICE Collaboration *Web Site*.
<http://aliweb.cern.ch/Documents/TDR/index.html>
- [8] *Acercándonos al LHC*, <<http://www.lhc-closer.es>>
Consultado el 1 de Septiembre de 2011.