



Planteamiento

Se encuadra dentro del bloque de física moderna de Física de 2º de Bachillerato. El objetivo es utilizar datos reales, y lo creé en abril de 2015 para citar el run2 de LHC. Como idea de partida me fijé en PAU Valencia Julio Bloque V-A, y amplíé para citar el bosón de Higgs, apoyándome en una imagen de un evento “limpio, con dos fotones” de CMS

(<https://cdsweb.cern.ch/record/1406073/files/gg-run177878-evt188723900-3d.jpg> editado para invertirlo y que no salga con fondo negro), que sirva para ser comentado e introducir las Masterclasses, y datos simples tomados de <http://profmattstrassler.com/articles-and-posts/particle-physics-basics/mass-energy-matter-etc/mass-and-energy/> que no tienen problemas de licenciamiento. También pongo datos como c con más cifras significativas, tomados de CODATA, para ver que usar datos como $3 \cdot 10^8$ m/s es una aproximación. Se puede poner masa del electrón en kg y/o también en energía en reposo en MeV; uno se puede obtener a partir del otro.

Puede servir para comentar cifras significativas y propapagación de errores, y para ver que si es imprescindible manejar β con tantas cifras significativas, tiene sentido usarlas en lo demás, y acostumbrese a coger datos de enunciado, no los que se recuerdan.

Por sencillez se trabaja como si fueran 2 protones, pero se puede comentar que son haces con paquetes de protones. Se calcula energía cinética para comprobar como en física de altas energías la partícula tiene más energía cinética que debido a su masa.

<http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?c>

<http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?e>

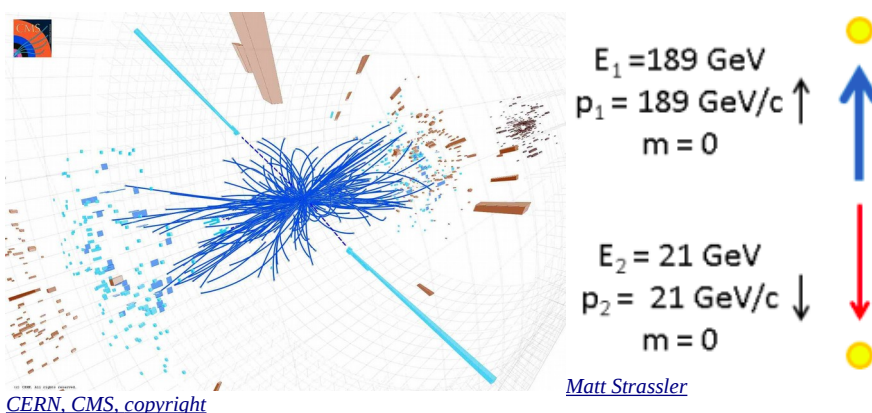
<http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mp>

<http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?mpc2mev>

Enunciado

En abril de 2015 comenzó el “run2” del LHC (Large Hadron Collider) del CERN tras una parada de 2 años, en la que se revisó para que permitiese una energía total de 14 TeV. Calcula:

a) La velocidad de uno de los dos protones si toda esa energía está asociada a la colisión de dos protones.



b) La “masa relativista”, la cantidad de movimiento y la energía cinética de cada uno de los protones.

La detección del bosón de Higgs en el LHC en 2012 recibió el premio Nobel en 2013

c) Calcula la masa del bosón de Higgs en GeV/c^2 y en kg si en su desintegración se observan dos fotones en direcciones opuestas según los datos de la figura.

Datos: velocidad de la luz en el vacío, $c = 299792458$ m/s; masa del protón, $m_p = 938,27208$ MeV; carga elemental, $e = 1,60217662 \cdot 10^{-19}$ C

Solución

a) Para que la energía total en la colisión sea de 14 TeV, cada protón en la colisión tiene una energía de 7 TeV

$$7 \cdot 10^{12} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = \gamma \cdot 1,672622 \cdot 10^{-27} \cdot (299792458)^2$$

$$\gamma = 7450 = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \Rightarrow \beta = 0,99999999 \Rightarrow v = \beta c = 299792455 \text{ m/s}$$

b) Calculamos la masa en reposo en kg



$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{938,27208 \cdot 10^6 \cdot 1,60217662 \cdot 10^{-19}}{299792458^2} = 1,672622 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$M = \gamma \cdot m = 7450 \cdot 1,672622 \cdot 10^{-27} = 1,24610339 \cdot 10^{-23} \text{ kg}$$

Momento lineal es un vector, damos su módulo:

$$p = \gamma \cdot m \cdot v = 7450 \cdot 1,672622 \cdot 10^{-27} \cdot 0,999999999 \cdot 299792458 = 3,7357 \cdot 10^{-15} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Energía total de un protón (la tenemos como dato de enunciado, pero se incluye validación)

La expresión $E = \sqrt{(mc^2)^2 + (pc)^2}$ en el caso de $m \neq 0$ equivale a $E = \gamma mc^2$

$$E = \gamma \cdot mc^2 = 7450 \cdot 1,672622 \cdot 10^{-27} \cdot 299792458^2 = 1,11994 \cdot 10^{-6} \text{ J} \approx 7 \text{ TeV}$$

$$E_{\text{cinética}} = (\gamma - 1) \cdot E_{\text{reposo}} = (7450 - 1) \cdot 1,672622 \cdot 10^{-27} \cdot 299792458^2 = 1,11979 \cdot 10^{-6} \text{ J} \approx 6,99 \text{ TeV}$$

c) La energía total $E = E_1 + E_2 = 189 + 21 = 210 \text{ GeV}$

El momento total $p = p_1 + p_2 = 189 - 21 = 168 \text{ GeV/c}$ hacia arriba.

La masa del sistema, que es un invariante relativista

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 \Rightarrow m = \frac{\sqrt{E^2 - (pc)^2}}{c^2} = \frac{\sqrt{210^2 - 168^2}}{c^2} = 126 \text{ GeV}/c^2$$

$$126 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{299792458^2} = 2,24 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$