

# CALCULAR LA MASA DEL QUARK TOP

## NOTAS PARA EL PROFESOR

### DESCRIPCIÓN

En 1994, los físicos del Fermilab anunciaron el descubrimiento de una nueva partícula denominada "Top Quark". El descubrimiento de esta partícula completó la carta del Modelo Estándar hasta que se anunció el descubrimiento del bosón de Higgs en 2012. A pesar del uso de detectores gigantes que utilizan tecnología innovadora, el análisis de datos involucró conceptos que forman parte del plan de estudios estándar para la física de la escuela secundaria.

En esta actividad, los estudiantes utilizan la conservación del momento, la conservación de la energía y la adición de vectores bidimensionales para calcular la masa del más pesado de los seis quarks conocidos. Recopilan datos de gráficos de datos del experimento DØ en Fermilab. Los eventos fueron elegidos cuidadosamente; Todos los productos de desintegración se movieron en un plano perpendicular al haz. Esto permite que el análisis se realice en dos dimensiones en lugar de los eventos que se muestran mejor en tres dimensiones. El uso del análisis vectorial bidimensional encaja muy bien durante una unidad de leyes de conservación o como un problema de práctica para la unidad de análisis vectorial.

### NORMAS ABORDADAS

#### *Estándares científicos de próxima generación*

##### Prácticas de Ciencia e Ingeniería

4. Análisis e interpretación de datos
5. Uso de las matemáticas y el pensamiento analítico
6. Construir explicaciones
7. Participar en argumentos a partir de pruebas

##### Conceptos transversales

1. Patrones observados
4. Sistemas y modelos de sistemas
5. Energía y materia
7. Estabilidad y cambio

#### *Normas básicas comunes de alfabetización*

##### Lectura

- 9-12.3 Siga precisamente un procedimiento complejo de varios pasos. . .
- 9-12.4 Determinar el significado de símbolos, términos clave. . .
- 9-12.7 Traducir información cuantitativa o técnica . . .

#### *Estándares básicos comunes de matemáticas*

- .MP2. Razonar abstracta y cuantitativamente
- .MP4. Modelar con matemáticas.
- MP5. Utilice las herramientas adecuadas estratégicamente.
- MP6. Atender a la precisión.

### ENTENDIMIENTOS DURADEROS

Los físicos de partículas utilizan la conservación de la energía y el momento para descubrir la masa de las partículas fundamentales.

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes conocerán y serán capaces de:

- Utilizar la conservación del momento y la energía para determinar la masa de un quark top.
- Explicar la importancia de identificar el momento faltante llevado lejos del evento por el neutrino.
- Describir las propiedades de un neutrino que hacen imposible su detección en el detector DØ.
- Explicar la importancia de considerar los resultados de varios experimentos antes de anunciar descubrimientos.

### CONOCIMIENTOS PREVIOS

Los estudiantes deben ser capaces de:

- sumar vectores en dos dimensiones.
- Utilizar unidades de energía y momento comunes en la física de partículas: Momentum— $eV/c$ , Energy— $eV/c^2$ .

### MATERIAL DE REFERENCIA

Enlaces útiles para describir cómo funcionan los detectores:

- <https://home.cern/about/how-detector-works>
- <http://lutece.fnal.gov/Papers/PhysNews95.html>

### RECURSOS/MATERIALES

Los estudiantes necesitarán una regla, un transportador, calculadora u hoja de cálculo y datos del siguiente enlace:

[http://ed.fnal.gov/samplers/hsp/activities/thumbnails\\_pdf.html](http://ed.fnal.gov/samplers/hsp/activities/thumbnails_pdf.html)

### IMPLEMENTACIÓN

Esta actividad fue desarrollada por el profesor de física Bob Grimm. Los estudiantes utilizan imágenes impresas de eventos, regla y transportador para analizar los datos. Esta actividad requiere promediar hasta diez puntos de datos por clase para obtener un resultado más preciso.

Los estudiantes analizan imágenes de eventos de quarks top-DØ, una real y tres Monte Carlo, elegidas porque los eventos ocurrieron en el plano perpendicular a la línea del haz. Esto significa que los estudiantes obtendrán buenos resultados utilizando el análisis vectorial bidimensional. Los estudiantes usan una regla y un transportador para agregar vectores de momento de partículas, descubrir la magnitud del momento de neutrino faltante y calcular la masa del quark top.

Cuando Bob usó esta actividad, sus estudiantes estaban estudiando leyes de conservación, por lo que la actividad encajaba perfectamente. No sabían sobre quarks, etc., pero pasaron algún tiempo, antes del día de laboratorio, mirando imágenes tomadas del sitio web que describen el experimento del quark top. Entonces, con sus preguntas de partículas abordadas, pudieron enfocarse en la porción de adición vectorial de la actividad. Este enfoque es un buen uso del tiempo de instrucción; En el día del laboratorio, las preguntas de los estudiantes sobre los vectores y el momento no se confundieron con las preguntas sobre las partículas. Esto no quiere decir que no tuvieran preguntas sobre las partículas. De hecho, las preguntas que tenían eran bastante sofisticadas. Pero no parecían distraídos por los detalles del experimento.

Bob recomienda tener en cuenta las siguientes ideas "yo" mientras guía a sus estudiantes a través de esta actividad:

- Invierta tiempo en describir el experimento.
- Ignorar los errores en la dirección del vector momento de neutrinos.
- Integra los resultados de tus alumnos. Promediar un gran conjunto de datos es fundamental.
- Unidades indistinguibles. Cerca de la velocidad de la luz, masa = momento = energía.

La clave para encontrar el momento arrastrado por el neutrino es determinar el "momento transversal faltante (Pt)". Dado que el detector no puede detectar neutrinos, apenas interactúan con la materia, haga que sus estudiantes observen todo el momento registrado en el evento y luego apliquen la conservación del momento para determinar qué se necesita para hacer que el momento neto del sistema sea cero. Recuerde que la energía y el momento son iguales en estas energías.

Si nunca ha hecho esto antes, el proceso es:

- Usa un transportador para encontrar el ángulo  $\theta$  que las líneas a través de los centros de todos los chorros y las pistas de muones forman con el eje x.
- La magnitud del momento  $p$  para todos los chorros y muones se da en la gráfica. Encuentra  $p_x = p \cos(\theta)$  y  $p_y = p \sin(\theta)$  para todos los chorros y muones.
- Encuentra  $p_{x \text{ total\_observado}}$  y  $p_{y \text{ total\_observado}}$ .
- Recuerde que el centro del momento de masa antes de la colisión es cero, ya que el momento se conserva, la suma vectorial de momentos después de la colisión también debe ser cero. Dado que podemos explicar todo el momento excepto el momento de neutrino faltante, los componentes x y y del momento de neutrinos son

$$p_{\text{neutrino } x} = -p_{x \text{ total\_observado}} \text{ y } p_{\text{neutrino } y} = -p_{y \text{ total\_observado}}.$$

- La magnitud del momento del neutrino es  $p_{\text{neutrino}} = (p_{\text{neutrino } x}^2 + p_{\text{neutrino } y}^2)^{1/2}$ .
- Sume las energías de todos los chorros, muones y el neutrino para encontrar la energía restante del par superior / anti-superior.
- Dado que el evento es un evento top/anti-top, la energía total dividida por dos da como resultado la masa del quark top en unidades de  $\text{GeV}/c^2$ .

## EVALUACIÓN

Las siguientes preguntas y la rúbrica de puntuación de muestra se pueden utilizar para la evaluación:

- Explicar el modelo matemático para encontrar el momento faltante arrastrado por el neutrino.
  - *Elección de un sistema de coordenadas*
  - *Medición del ángulo de todos los vectores en relación con el eje x elegido*
  - *Determinar correctamente el componente x y el componente y de cada vector momento*
  - *Encontrar la suma de los componentes x y y*
  - *Indicando que los componentes vectoriales deben sumar cero, determinando el momento del componente x y el momento del componente y del neutrino necesarios para que las sumas de los componentes sean iguales a cero.*

- Usando el componente x del neutrino y el componente y para determinar la magnitud del momento del neutrino faltante.
- Determinar la energía del neutrino debe ser la misma que la magnitud del momento del neutrino cuando se elijan las unidades apropiadas.
  - *Comience con la ecuación de Einstein  $E^2 = p^2 c^2 + (mc^2)^2$*
  - *En las unidades correctas, el reduce a  $E^2 = p^2 + m^2$*
  - *La masa del neutrino es insignificante en estos niveles de energía, por lo que  $E = p$*
- Explicar cómo se utiliza la conservación de la energía para determinar la masa del quark top.
  - *La suma de la energía de los chorros, muones y neutrinos debe ser igual a la masa del par quark top/antiquark top.*
- Describir las propiedades de un neutrino que hacen imposible su detección en el detector DØ.
  - *El neutrino no tiene carga y, por lo tanto, no interactúa con la sección de seguimiento del detector o el calorímetro electromagnético.*
  - *El neutrino tiene una masa tan pequeña, que no interactúa con la materia y, por lo tanto, no será detectable en el calorímetro de hadrones o en las secciones del detector de muones.*
- Compare su resultado individual con el valor determinado a partir del promedio de la clase.
  - *¿Eran sus valores atípicos?*
  - *¿Qué tan cerca estaba el promedio de la clase del valor determinado por los científicos?*
  - *¿El valor fue determinado por los científicos dentro del rango de los valores encontrados por su clase?*
- Utilice estos resultados para describir por qué los científicos quieren la repetibilidad de los resultados antes de anunciar los descubrimientos.